

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Gestion des Agrosystèmes

THEME

**Effet de stress salin sur la germination de deux
variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.)**

Présenté par :

M. BELAMRI Ihab

M. KHANFOUCI Mohamed Nourredine

Soutenu publiquement : Le 22 /06/2025

Devant le jury :

M. DADA MOUSSA M ^{ed} Lakhdar	Président	M.C.A	UKM Ouargla
Mme. BENBRAHIM Keltoum	Promotrice	M.C.A	UKM Ouargla
Mme. DERAOUI Naima	Co/ Promotrice	M.C.A	UKM Ouargla
M. BOUMADDA Abdelbasset	Examineur	M.C.A	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2024/2025

Dédicaces

À mon cher père, Khanfouci Hamou,
modèle d'intégrité, de persévérance et de sagesse.
Tu as toujours été un repère dans ma vie, un guide discret mais
solide.

Par ton travail acharné et ton amour silencieux, tu m'as appris
la valeur de l'effort et le respect du savoir.
Ce mémoire est le fruit de ce que tu m'as transmis.

À ma tendre mère,
source inépuisable d'amour, de courage et de sacrifices.
Merci pour ton soutien indéfectible, tes prières, ta patience et
ta tendresse inégalée.
Sans toi, rien de cela n'aurait été possible. Ce travail te revient
autant qu'à moi.

À toute ma famille,
frères, sœurs, oncles, tantes, et tous ceux qui, de près ou de
loin, ont cru en moi, m'ont encouragé et soutenu moralement.
Votre présence dans ma vie est une richesse inestimable.

À mes amis sincères,
avec qui j'ai partagé les moments de doute, les éclats de rire,
les nuits blanches et les instants de victoire.
Merci pour votre écoute, vos conseils et votre amitié
précieuse.

À vous tous,
je dédie humblement ce mémoire,
en témoignage de ma reconnaissance et de mon amour.

Mohamed

Dédicaces

À ma chère mère,
Pour ton amour inestimable, ta patience infinie et ton
soutien constant,
Pour tous les sacrifices que tu as faits en silence afin de
me voir réussir.
Tu es ma première source de force et de motivation.

À ma famille,
À mon père, mes frères et sœurs,
Pour votre présence bienveillante, vos encouragements
et votre confiance en moi tout au long de ce parcours.
Votre soutien m'a porté dans les moments de doute et
m'a donné le courage d'aller jusqu'au bout.
Cette modeste œuvre vous est dédiée, en témoignage de
ma reconnaissance et de mon amour.

Iheb

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant qui nous a donné le courage et la patience pour achever ce travail.

Nous tenons en premier lieu à remercier notre encadreur, Madame **Benbrahim Keltoum** Maitre de conférence à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour ses orientations, ainsi que pour ses conseils, ses encouragements et son soutien pour mener à bien ce travail.

Nous remercions également notre Co-encadreur, Madame **Deraoui Naima**, Maitre de conférence à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour son aide, ses orientations et ses conseils.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Monsieur DADDA MOUSSA Mouhamed Lakhdar**, Maitre de conférence à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider et d'évaluer ce travail.

Mes sincères remerciements vont également à **Monsieur BOUMADDA Abde El Basset** Maitre de conférence à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour avoir accepté d'examiner ce travail académique.

Liste des abréviations

pH : Potentiel Hydrogène

g: gramme

°C : degré Celsius

% : pourcentage

Kg : kilogramme

Q/ha : quintal par hectare

mM : millimolaire

NaCl : chlorure de sodium

K⁺ : ion potassium

B9 : vitamine B9 (acide folique)

g/l : gramme par litre

INSID : Institut national des sols de l'irrigation et du drainage

PR/PA :: Partie racinaire / partie aérienne

CO₂ : dioxyde de carbone

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

PMG : Poids de mille graine

ml : Millilitre

CE : Conductivité Électrique

V: Volume

Ds/cm : Décisiemens par Centimètre

h : Heure

Cm² : Centimètre Carré

nm : Nanomètre

ITAS : Institut technique de l'agriculture saharienne

μ : micron

Liste des figures

Figure 1 : Illustration des stratégies « exclusion et inclusion -----	20
Figure 2 : Laitue batavia blonde de paris-----	24
Figure 3 : Laitue madrilène-----	24
Figure 04 : Préparation des solutions salines-----	25
Figure.5 Désinfection des semences-----	26
Figure 6. Installation de l'expérience-----	27
Figure 7. Les Boites de pétri sont placées dans un incubateur réfrigéré-----	27
Figure 8 : Taux de germination selon les concentrations de Na Cl v1-----	30
Figure 9: Taux moyen et indice de tolérance en fonction de la dose Na Cl -----	32
Figure 10 : Taux de germination selon les concentrations de Na Cl v1-----	32
Figure 11 : Indice de tolérance selon les concentrations de Na Cl v2-----	34
Figure 12: Comparaison de la longueur de la racicule -----	35
Figure 13 : Comparaison de la longueur des tigelles -----	36
Figure 14: Comparaison du nombre de feuille selon la dose Na Cl -----	38
Figure 15 : Comparaison de la superficie des feuille -----	40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ravageurs et maladies physiologiques de la laitue-----14

Tableau 2 : Les différentes concentrations salines-----24

Tableau 3 : et de l'indice de tolérance chez la laitue v1-----31

Tableau 4 : analyse de taux de germination et de l'indice de tolérance chez la laitue v2-----33

Sommaire

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....1

Synthèse bibliographique

1. Présentation de l'espèce laitue (*Lactuca sativa* L.)3

1.. Généralités et classification botanique.....3

Classification botanique :.....3

1.2 Origine de la laitue.....4

1.3.Présentation des variétés de laitue.....5

a. Batavia Blonde de Paris (*Lactuca sativa* var. *capitata*).....5

b. Madrilène.....6

1.4 Caractéristiques morphologiques.....6

1.5 Caractères botaniques et physiologiques de *Lactuca sativa* L.....7

1.5.1 Caractères botaniques.....8

a. Phase de germination et de levée.....8

b. Phase végétative.....8

c. Phase reproductive.....8

1.5.2Caractères physiologiques.....9

Caractères physiologiques de *Lactuca sativa* L.....9

1.6 Exigences climatiques.....10

1.6.1 Température.....10

1.6.2 Éclairement.....11.

1.6.1.3 Humidité.....11

1.6.2 Exigence édaphique11

1.6.2.2Plantation11

1.6.2.3Irrigation.....12

1.6.2.4 Fertilisation.....12

<i>a. Organique.....</i>	<i>13</i>
<i>b. Fertilisation minérale.....</i>	<i>13</i>
<i>1.7. Problèmes phytosanitaires.....</i>	<i>13</i>
<i>1.7.1. Ravageurs.....</i>	<i>13</i>
<i>1.8 Intérêt de la laitue.....</i>	<i>14</i>
<i>1.8.1. Intérêt économique.....</i>	<i>14</i>
<i>1.8.2. Intérêt nutritionnel.....</i>	<i>15</i>
<i>1.8.3. Intérêt agronomique.....</i>	<i>15</i>
<i>2.Généralités sur le stress salin.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2Définition du stress salin.....</i>	<i>16</i>
<i>2.3Types de salinisation.....</i>	<i>16</i>
<i>2.3.1. Salinisation primaire.....</i>	<i>16</i>
<i>2.3.2. Salinisation secondaire.....</i>	<i>17</i>
<i>2.4 Effet de la salinité.....</i>	<i>17</i>
<i>2.4.1Effet de la salinité sur la germination.....</i>	<i>17</i>
<i>2.4.2 Effet de la salinité sur la croissance et le développement.....</i>	<i>17</i>
<i>2.4.3Effets de la salinité sur le rendement des plantes.....</i>	<i>18</i>
<i>2.4.4 Effets de la salinité sur la morphologie (tige, racine, feuille).....</i>	<i>18</i>
<i>2.4.5 Effet de la salinité sur la photosynthèse.....</i>	<i>19</i>
<i>2.5 Tolérance des plantes a la contrainte saline.....</i>	<i>19</i>
<i>2.5.1 Comportement des plantes en milieu salin</i>	<i>19</i>
<i>2.5.1.1) Exclusion.....</i>	<i>19</i>
<i>2.5.1.2) Inclusion.....</i>	<i>20</i>
<i>2.6 Importance de la salinité.....</i>	<i>20</i>

Chapitre (II) : Matériel et méthodes

CHAPITRE III : RESULTAT ET DESCUSSION

CONCLUSION

Introduction

Introduction

L'agriculture moderne est confrontée à de nombreux défis environnementaux, parmi lesquels la salinité. Ce phénomène touche environ 20 % des terres irriguées dans le monde, affectant la productivité des cultures dans de nombreuses régions arides et semi-arides (FAO, 2015). La salinité du sol résulte de l'accumulation excessive de sels solubles, principalement des ions sodium (Na^+) et chlorure (Cl^-), qui altèrent le développement des plantes à travers des mécanismes complexes incluant des effets osmotique, ionique et oxydatif (Munns & Tester, 2008).

Parmi les stades les plus sensibles de la croissance végétale à la salinité figure la **germination**, phase cruciale pour l'établissement de la plante. Un stress salin, même modéré, peut inhiber ou retarder la germination, réduire le taux de levée, altérer la croissance des jeunes plantules et impacter durablement la productivité (Ashraf & Foolad, 2005). Ces effets sont d'autant plus importants que la plante est peu tolérante au sel, comme c'est le cas des espèces dites **glycophytes**, dont fait partie la laitue (*Lactuca sativa* L.).

La laitue est une espèce maraîchère à cycle court, largement cultivée pour ses feuilles en salades. En raison de sa haute valeur économique et nutritionnelle, elle constitue un enjeu agricole majeur dans plusieurs régions méditerranéennes. Toutefois, elle est reconnue pour sa sensibilité élevée à la salinité, notamment au stade de germination et d'installation (Bernstein, 1975 ; Mahmoudi et al., 2010).

Diverses études ont montré que des concentrations de NaCl supérieures à 50 mM peuvent réduire significativement la vitesse et le pourcentage de germination, ainsi que la croissance racinaire et caulinare (Bybordi & Tabatabaei, 2009).

La réponse des plantes à la salinité varie selon les variétés. De ce fait, il est important d'identifier et de caractériser les variétés les plus tolérantes afin de développer des stratégies de sélection et d'adaptation, particulièrement dans les zones où la salinisation des terres agricoles est en expansion. Une meilleure compréhension des mécanismes de tolérance au stress salin, à travers l'étude de paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques, permettrait d'améliorer la résilience des cultures face aux contraintes abiotiques croissantes liées au changement climatique (Flowers et Yeo, 1995 ; Munns, 2002).

Dans ce contexte, le présent travail vise à évaluer **l'effet du stress salin sur la germination de deux variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.)**, en analysant la réponse morpho-physiologique de ces variétés soumises à différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl). Cette étude contribuera à la sélection des variétés les plus adaptées aux conditions de salinité, et fournira des pistes pour une gestion agricole durable dans les zones sahariennes.

L'étude est divisée en quatre chapitres après une introduction générale :

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre II : Présentation des matériaux et méthodes utilisés pour mener l'expérience

Chapitre III : Présentation des résultats, analyse et discussion.

***CHAPITRE (I) : SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE***

1. Présentation de l'espèce laitue (*Lactuca sativa* L.)

1.. Généralités et classification botanique

La laitue (*Lactuca sativa* L.) est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Astéracées, également connue sous le nom de Composées. Elle est l'un des légumes-feuilles les plus consommés dans le monde. Originaire du bassin méditerranéen et d'Asie Mineure, la laitue est cultivée depuis l'Antiquité pour ses feuilles tendres et croquantes. Il en existe plusieurs groupes variétaux, dont les plus connus sont les laitues pommées (type beurre ou batavia), les laitues romaines, les laitues à couper, et les laitues frisées. Chacune présente des caractéristiques morphologiques particulières : forme et texture des feuilles, développement d'une pomme, résistance aux maladies, tolérance aux stress environnementaux, etc. (Benabdelkader, 2018 ; Taiz & Zeiger, 2010).

Sur le plan physiologique, la laitue est une plante à croissance rapide, exigeante en lumière et en eau, mais particulièrement sensible aux stress abiotiques comme la salinité, la sécheresse, la chaleur ou l'excès d'humidité. La salinité, en particulier, peut affecter de manière significative la germination des graines, la croissance des plantules, la surface foliaire, la photosynthèse et, par conséquent, le rendement final. (Koca et al., 2007 ; Shannon & Grieve, 1999).

Au niveau nutritionnel, la laitue est appréciée pour sa richesse en eau (jusqu'à 95 % de sa masse fraîche), en fibres, et en micronutriments tels que la vitamine A (sous forme de bêta-carotène), la vitamine K, la vitamine C, ainsi qu'en minéraux comme le potassium, le calcium et le fer. Faible en calories, elle est souvent recommandée dans les régimes alimentaires équilibrés. (USDA, 2020 ; Barros et al., 2010).

Cultivée en plein champ ou sous serre, la laitue est une espèce à cycle court qui peut être récoltée entre 30 et 90 jours après le semis, selon la variété et les conditions culturales. Elle est également très utilisée dans les études scientifiques comme plante modèle pour l'analyse des effets de stress abiotiques sur les plantes à feuilles. (Mahmoudi et al., 2011 ; Rouphael et al., 2008).

Classification botanique :

- **Règne** : Plantae
- **Division** : Magnoliophyta
- **Classe** : Magnoliopsida
- **Ordre** : Asterales

- **Famille** : Asteraceae
- **Genre** : *Lactuca*
- **Espèce** : *Lactuca sativa* L.

1.2 Origine de la laitue

La laitue (*Lactuca sativa* L.) est une plante herbacée annuelle appartenant au genre *Lactuca*, au sein de la vaste famille des Astéracées (ou Composées), l'une des familles les plus diversifiées du règne végétal, regroupant plus de 1 600 genres et 23 000 espèces à travers le monde (Judd et al., 1999 ; Funk et al., 2005). Le genre *Lactuca* comprend une centaine d'espèces, majoritairement originaires des zones tempérées de l'Ancien Monde, telles que *Lactuca serriola*, *Lactuca virosa* et *Lactuca saligna* (Thicoïpé, 1997 ; Ryder, 1999), qui sont considérées comme les parents sauvages les plus proches de la laitue cultivée.

L'origine de *Lactuca sativa* remonterait à plus de 4 500 ans, avec des preuves de domestication retrouvées dans l'Égypte ancienne, où la laitue était non seulement consommée pour ses feuilles, mais également cultivée pour ses graines riches en huile. Des représentations de laitue ont été découvertes dans des tombes pharaoniques, notamment celles de Ramsès II, soulignant son importance symbolique et alimentaire (Labrie et Ménard, 2012). À l'origine, la laitue sauvage (*L. serriola*) possédait des feuilles épineuses et amères. Elle a été progressivement sélectionnée pour produire des cultivars à feuilles tendres, douces, sans épines, et à développement foliaire compact.

La culture de la laitue s'est étendue de la Méditerranée vers l'Europe du Nord, notamment grâce aux Romains, puis elle a été introduite en Amérique du Nord par les colons européens au XVII^e siècle (Plamondon, 2011). Aujourd'hui, *Lactuca sativa* est cultivée dans le monde entier, aussi bien en climat tempéré qu'en conditions contrôlées (serres, hydroponie), pour l'alimentation humaine.

Les travaux de sélection végétale ont permis au fil des siècles de développer une grande diversité de formes et de types variétaux : laitues pommées, batavias, romaines, laitues à couper, etc. Ces cultivars modernes sont le fruit de croisements et de sélections visant à améliorer non seulement les rendements et la qualité organoleptique, mais aussi la résistance aux maladies (comme le mildiou ou la fusariose), la tolérance aux stress abiotiques (salinité, sécheresse, températures extrêmes), et l'adaptation à différents calendriers culturels (Davey et Anthony, 2011).

Ainsi, la laitue, bien qu'ayant une origine ancienne et méditerranéenne, est devenue aujourd'hui l'un des légumes-feuilles les plus consommés et les plus étudiés à travers le monde.

1.3. Présentation des variétés de laitue

a. Batavia Blonde de Paris (*Lactuca sativa* var. *capitata*)

La *Batavia Blonde de Paris* est une variété traditionnelle de laitue appartenant au groupe des laitues batavias (*Lactuca sativa* var. *capitata*). Elle est particulièrement adaptée aux cultures de printemps et d'automne en climat tempéré. Cette variété se distingue par sa pomme volumineuse, bien formée, aux feuilles cloquées, tendres, légèrement croquantes et d'une belle couleur vert blond. Les feuilles sont épaisses, brillantes et assez étalées à la base, ce qui confère à la plante une belle présentation commerciale. (Gautier et al., 2009 ; INRA, 2015).

Elle est appréciée pour sa tolérance à la montaison, sa résistance à certaines souches de mildiou (*Bremia lactucae*), et son bon comportement en culture en plein champ. Elle est également adaptée à une récolte manuelle ou mécanisée. Son goût est doux, sans amertume, ce qui en fait une laitue très prisée sur les marchés frais.

En détail:

- **Aspect**

La laitue batavia Blonde de Paris forme des pommes de taille moyenne à grande, avec des feuilles de couleur vert pâle à reflets dorés.

- **Texture**

Les feuilles sont croquantes et légèrement sucrées, ce qui en fait un excellent choix pour les salades.

- **Culture**

Facile à cultiver, elle peut être semée au printemps et en été. Elle résiste bien aux températures extrêmes et à la montée à graine.

- **Utilisation**

Elle se consomme crue en salade ou peut être cuite, notamment braisée ou à l'étouffée.

- **Bienfaits**

Comme toutes les laitues, elle est riche en eau, en fibres, en vitamines et en antioxydants, ce qui contribue à une bonne hydratation et à un bon transit intestinal.

b. Madrilène

La Madrilène est une variété de laitue romaine (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), originaire d'Espagne. Elle est reconnaissable à sa forme allongée, ses feuilles épaisses, croquantes et dressées, de couleur vert clair à vert moyen. Cette variété est réputée pour sa résistance au stress thermique, ce qui la rend particulièrement bien adaptée aux cultures estivales ou en régions chaudes.

Elle forme une pomme élancée, ferme et dense, avec un cœur clair. Les feuilles sont douces au goût et croquantes, idéales pour la consommation en salades fraîches. Elle est également appréciée pour sa bonne résistance au virus de la mosaïque de la laitue (LMV) et à la montée à graines lente, ce qui prolonge la durée de récolte. (INRA, 2015 ; Gautier et al., 2009 ; Costanzo et al., 2020).

1.4 Caractéristiques morphologiques

La laitue est une plante herbacée annuelle, à cycle végétatif court, généralement de type long-jour, bien que certaines variétés soient mieux adaptées aux jours courts ou aux conditions intermédiaires. Elle développe au début de son cycle une rosette basale constituée de feuilles entières, souvent lobées ou crénelées, disposées en spirale. Selon le cultivar, ces feuilles peuvent être plus ou moins cloquées, lisses ou gaufrées, à bord lisse ou dentelé, et sont susceptibles de former ou non une « pomme » – un cœur compact formé par le resserrement progressif des feuilles centrales (Gautier et al., 2009 ; INRA, 2015).

La capacité à former une pomme (comme chez les laitues pommées ou batavias) est un critère important dans la sélection variétale. Une fois la phase végétative terminée, surtout sous l'effet de la montée en température et de la photopériode, la tige s'allonge : c'est la montée à graines. L'apex se transforme alors en une hampe florale pouvant atteindre jusqu'à un mètre de hauteur, portant des feuilles réduites et alternes. L'inflorescence est une grappe composée de nombreux capitules floraux typiques des Astéracées. Les fleurs sont hermaphrodites, de couleur jaune, et regroupées en petits capitules, chaque fleur donnant un fruit sec de type akène (ou cypsèle).

Les feuilles présentent une grande diversité morphologique selon les types variétaux : elles peuvent être larges, allongées ou lancéolées, lisses ou cloquées, épaisses ou fines, et de couleur allant du vert clair au vert foncé, parfois teintées de rouge. Chez certaines formes anciennes ou sauvages, comme *Lactuca serriola*, les feuilles sont étroites, très découpées, parfois épineuses, et la plante est plus amère en raison de la présence accrue de latex contenant des composés phénoliques (Lakhdari et al., 2010 ; Costanzo et al., 2020). .

Les graines, également appelées semences, sont décrites comme fines, allongées, pointues aux extrémités et aplaties. Leur couleur varie du gris au brun, avec des pointes plus claires, souvent jaunes ou blanchâtres (Lakhdari et al., 2010). Ces graines possèdent une faible dormance, ce qui permet une germination rapide à des températures optimales comprises entre 15 et 20 °C. Elles sont cependant sensibles à la thermoinhibition, c'est-à-dire que des températures trop élevées (>25 °C) peuvent bloquer la germination. (Shannon & Grieve, 1999 ; Koca et al., 2007).

Du point de vue anatomique, la laitue présente un système racinaire fasciculé, superficiel et peu profond, ce qui la rend sensible aux stress hydriques et à la salinité du sol. Sa physiologie foliaire repose sur une activité photosynthétique modérée, mais suffisante pour soutenir une croissance rapide en conditions favorables. Les variétés modernes sont souvent sélectionnées pour leur tolérance à la montaison, leur uniformité de croissance, leur résistance aux maladies (comme le mildiou ou la fusariose) et leur aptitude au conditionnement post-récolte. (Benabdelkader, 2018 ; Rouphael et al., 2008).

-La semence

D'après la description de Lakhdari et al. (2010), les semences de *Lactuca sativa* L. se présentent sous forme de graines fines, allongées, pointues et aplaties. Elles se distinguent par une coloration grise au centre, tendant vers le jaune aux extrémités.

Selon les données fournies par le G.A.B. et la F.R.A.B. (2010), plusieurs caractéristiques techniques peuvent être relevées :

- Le nombre de graines par gramme est estimé entre 800 et 1000.
- La longévité moyenne d'une graine est de 4 à 6 ans dans des conditions de conservation optimales.
- La germination intervient généralement entre 7 et 10 jours, selon la température du sol.

- La température idéale pour la germination se situe entre 12 °C et 15 °C.
- Pour préserver leur pouvoir germinatif, les semences doivent être conservées à une température comprise entre 4 °C et 10 °C.

1.5 Caractères botaniques et physiologiques de *Lactuca sativa* L.

1.5.1 Caractères botaniques

Grâce à la diversité variétale et aux différentes techniques de culture, la laitue peut aujourd'hui être cultivée tout au long de l'année. Son cycle de développement, qui dure environ 45 jours, se déroule sur une seule année et se divise en trois grandes phases (Sellam, 2020).

a. Phase de germination et de levée

La germination des graines de laitue est rapide, apparaissant généralement en 2 à 3 jours après le semis, sous des conditions optimales (Sellam, 2020).

b. Phase végétative

Durant cette phase, la plante forme une rosette de feuilles qui peut évoluer en une pomme plus ou moins serrée selon le type variétal. C'est cette partie, tendre et comestible, qui est récoltée pour la consommation et la commercialisation (Sellam, 2020).

c. Phase reproductive

Après la phase végétative, la tige s'allonge, donnant naissance à une hampe florale ramifiée en corymbe. À ce stade, la plante peut atteindre une hauteur de 1 à 1,5 mètre et porte de nombreux capitules floraux composés de 10 à 15 fleurons ligulés, qui se développent presque simultanément. L'inflorescence s'ouvre une seule fois, au matin, juste après le lever du soleil. Chez certaines variétés, la face externe des capitules présente une teinte anthocyanée (Pitrat et Foury, 2004 ; Zorrig, 2010 ; Valade, 2012).

Le fruit de la laitue est un akène, souvent confondu avec une graine, composé d'un corps dur et oblong de couleur brune ou crème, surmonté d'un bec muni d'un pappus (aigrette) qui facilite sa dispersion mais est éliminé lors du battage.

La montaison — passage à la phase reproductive — est influencée par la longueur du jour et la température. Elle est plus rapide en conditions de jours longs et de fortes chaleurs, et dépend aussi du génotype de la plante. (Grevsen & Olesen, 1994 ; Gautier et al., 2009).

Sur le plan reproductif, la laitue est une espèce autogame obligatoire, c'est-à-dire que la fécondation se fait généralement par autopolinisation. Le pollen est libéré avant l'apparition du stigmate, assurant ainsi une fertilisation interne (Davey et Anthony, 2011, in Sellam, 2020). Toutefois, la pollinisation croisée reste possible, et tous les types de laitue sont intercompatibles, ce qui permet aux sélectionneurs d'effectuer des croisements manuels. La castration, souvent nécessaire pour la production de semences hybrides, se réalise délicatement à l'ouverture du capitule, soit par ablation des étamines à la pince, soit par lavage à l'eau. Certaines variétés mâles stériles ont été identifiées et sont utilisées dans la sélection, mais leur exploitation en production de semences reste limitée en raison de la faible efficacité de la pollinisation naturelle et du nombre réduit de graines par capitule. (Sellam, 2020).

1.5.2 Caractères physiologiques.

Caractères physiologiques de *Lactuca sativa* L.

- **Croissance rapide**

Lactuca sativa L. présente un développement végétatif rapide, avec un cycle de culture court (environ 40 à 50 jours selon les conditions agroclimatiques).

- **Exigences en lumière**

C'est une espèce de jour long, sensible à la photopériode. Une intensité lumineuse suffisante est nécessaire pour assurer une croissance optimale, tandis qu'un déficit lumineux ralentit la formation de la pomme.

- **Sensibilité à la température**

La laitue préfère des températures modérées (15 à 20 °C). Des températures élevées (> 25 °C) induisent précocement la montaison, ce qui nuit à la qualité commerciale. Le froid excessif peut également bloquer la croissance.

- **Besoins hydriques**

C'est une plante gourmande en eau, particulièrement pendant la phase de croissance. Un stress hydrique peut engendrer une réduction de la biomasse, une amertume des feuilles ou une mauvaise formation de la pomme.

- **Exigences nutritionnelles**

La laitue nécessite des apports réguliers en azote, potassium et calcium. Une fertilisation déséquilibrée peut entraîner des désordres physiologiques tels que des brûlures foliaires ou des nécroses marginales.

- **Montaison**

La transition vers la floraison est appelée montaison. Elle est favorisée par des jours longs et des températures élevées, et reste fortement influencée par le génotype.

- **Floraison et reproduction**

La laitue est une espèce **autogame stricte**. Le pollen est libéré avant l'émergence du stigmate, assurant ainsi une autopolinisation. Néanmoins, une faible proportion de pollinisation croisée peut se produire. L'inflorescence s'ouvre une seule fois, tôt le matin.

- **Formation du fruit**

Le fruit est un akène sec, généralement oblong, de couleur brun foncé ou crème, muni d'un pappus facilitant la dissémination. Le nombre de graines par capitule est faible.

- **Adaptabilité génétique**

Une grande variabilité génétique permet le développement de cultivars adaptés à différentes saisons et conditions agroécologiques. Des sélections spécifiques ont été réalisées pour améliorer la tolérance au stress, la résistance aux maladies et la qualité commerciale.

1.6 Exigences climatiques

La laitue (*Lactuca sativa* L.) est un légume de grande importance à l'échelle mondiale, avec une production annuelle dépassant les 21 millions de tonnes. Toutefois, sa culture est soumise à plusieurs contraintes liées à des facteurs environnementaux, notamment la photopériode et la température. En effet, des températures trop élevées, associées à de longues durées d'éclairement, peuvent entraîner la formation de pommes lâches ainsi qu'un étiolement important (Thicoïpé, 1997). Ces conditions peuvent également induire une montaison prématurée, nuisant à la qualité du produit récolté (Waycott et Ryder, 1993, cités par Benmadani et Belouadah, 2018).

1.6.1 Température

La laitue est une espèce particulièrement bien adaptée aux climats tempérés à frais. Les températures optimales pour sa croissance se situent entre 7 °C durant la nuit et 24 °C en journée (Elattir et al., 2003 ; Jenni, 2010). Concernant la phase de germination, Elmhirst (2006) indique qu'elle s'effectue idéalement à une température comprise entre 15 °C et 18 °C

1.6.2 Éclairement

La croissance végétative de la laitue est favorisée par des journées longues, avec plus de 13 heures d'ensoleillement par jour, associées à des températures élevées, optimales autour de 20 °C. Cependant, certains cultivars sont capables de se développer même sous des conditions de faible éclairement et de températures basses (Verolet, 2001).

1.6.1.3 Humidité

Une humidité excessive, surtout en conditions fraîches, favorise la condensation de la vapeur d'eau sur les feuilles, ce qui crée un environnement propice au développement de maladies fongiques telles que la moisissure grise causée par *Botrytis cinerea* (Elmhirst, 2006).

1.6.2 Exigence édaphique

1.6.2.1. Type de sol

La laitue, sensible à l'asphyxie, s'adapte tout de même à une grande variété de sols (Limon sableux à limon argileux), mais elle préfère les sols avec un taux élevé de matière organique et avec une bonne fertilité comme les sols organiques appelés « terres noires ».

Pour ces sols, un pH de 5,4 et une bonne capillarité favorisent grandement le développement de la laitue (Jenni et Bourgeois, 2008, Plamondon, 2011).

□ Travail profond

Le choix des outils dépend du type de sol et de l'état de la structure au moment de la préparation. Toute intervention profonde doit être étayée par une observation de l'état du profil. - Décompactage préalable si nécessaire. - Charrue, Roto bêche ou outils à dents (20-25 cm).

1.6.2.2 Plantation

1.6.2.2.1 Semis

Le semis peut être réalisé pour les cultures en plein champ. Le semis s'effectuera sur un sol ressuyé et réchauffé du 1er au 31 mars en zone Sud et de la mi-mars à la mi-avril en zone Nord. Profondeur : 1 à 2 mm Densité : 12 à 15 graines par mètre linéaire Écartement : 50 à 60 cm On favorisera le contact graine-sol à l'aide de la roue plombeuse à l'arrière des éléments semeurs du semoir de précision, puis on roulera derrière le semis si nécessaire. Au stade 5/6 feuilles,

éclaircir le semis avec comme objectif, garder une plante tous les 10/15 cm. (Benmadani et Belouadah, 2018).

1.6.2.2.2. Plantation

La plantation peut être réalisée en plein champ, comme sous abri. Pour réussir le semis, semer dans un terreau frais sous abri, et recouvrir d'un film plastique les premiers jours. La germination optimale s'obtient à une température de 15 à 20°C et doit s'effectuer en 2 ou 3 jours. Précaution indispensable : durcir les plants rapidement dès le stade 2/3 feuilles en enlevant le film plastique et en ouvrant les abris. Dans le cas contraire, les plants peuvent se fragiliser, s'étioler voire ourir. Le paillage lors de la plantation préserve la structure du sol, limite l'évaporation et empêche les adventices de se développer.

La plantation est réalisée au moment où les jeunes racines sortent de la motte, ce qui correspond approximativement au stade 4/6 feuilles de la laitue. On plante alors 5 plants par mètre. (Collin et Lizot, 2003).

1.6.2.3Irrigation

La laitue présente une sensibilité modérée au stress hydrique. Il est généralement recommandé de procéder à une ou deux irrigations de 25 à 30 mm, notamment au début de la floraison et pendant la phase de remplissage des graines. En culture sous abri, la gestion de l'irrigation est facilitée, notamment grâce à l'utilisation de la technique du goutte-à-goutte (Collin et Lizot, 2003).

1.6.2.4 Fertilisation

La fertilisation minérale et organique joue un rôle complémentaire dans la nutrition des plantes. Les engrais minéraux fournissent des éléments nutritifs directement assimilables par la plante, tandis que les apports organiques nécessitent une phase de transformation appelée minéralisation pour que leurs éléments nutritifs deviennent disponibles.

Le bon fonctionnement biologique et chimique du sol est essentiel à ce processus. Ainsi, l'apport régulier de matières organiques, en qualité et en quantité suffisantes, contribue non seulement à la fertilité du sol, mais aussi à la disponibilité des nutriments minéraux pour la plante (Grasset, 2008).

a. Organique :

Les besoins azotés de la laitue sont assez faibles et peuvent être couverts par les reliquats d'une tête d'assolement exigeante. On prend en compte le reliquat azoté par les cultures précédentes, auquel on ajoute un complément : celui-ci peut être un apport de fumier composté (Collin et Lizot, 2003).

b. Fertilisation minérale

Les engrais minéraux utilisés dans la culture de la laitue se divisent en deux grandes catégories :

- **Les engrais de fond** : Riches en potassium (K) et en phosphore (P), ces engrais doivent être incorporés au sol au moins 15 jours avant le semis afin d'assurer une bonne disponibilité des éléments au démarrage de la culture.
- **Les engrais de couverture (ou d'entretien)** : Ils sont principalement à base d'azote (N), essentiel à la croissance végétative. Parmi eux, on retrouve l'urée, le sulfate d'ammoniaque, ainsi que le phosphate monoammonique (MAP) ou diammonique (DAP).

1.7. Problèmes phytosanitaires

La culture de la laitue peut être confrontée à divers problèmes phytosanitaires, notamment l'apparition de ravageurs et de maladies d'origine physiologique. Ces agents nuisibles peuvent compromettre à la fois la qualité et le rendement de la production.

1.7.1. Ravageurs

Le tableau ci-après présente les principaux ravageurs susceptibles d'affecter la laitue, les types de dégâts qu'ils occasionnent ainsi que les méthodes de lutte appropriées.

Tableau 1.1 : Ravageurs et maladies physiologiques de la laitue

	Prépondérants	Secondaires	Occasionnels
Insectes	Puceron Punaise terne	Fausse-arpenteuse Vers gris	Puceron des racines Cicadelle Nématode Punaise pentatomide
Maladies	Mildiou	Moisissure grise (Botritys) Affaissement sclérotique (Sclerotinia) Affaissement (Pythium) Pourriture basale Tache bactérienne	Jaunisse de l'aster Pourriture bactérienne (Erwinia) Oïdium Anthracnose
Maladie physiologique	Pourriture apicale	Nervation brune Montée à la graine	Assèchement marginal

Référence électronique :

http://www.prisme.ca/laitue_ravageurs.asp

1.8 Intérêt de la laitue

La laitue est un légume largement consommé à travers le monde et revêt une grande importance économique dans de nombreux pays (Coelho et al., 2005). Sur le plan nutritionnel, elle occupe également une place de choix en raison de sa richesse en vitamines (A, B – notamment l'acide folique –, C et E) ainsi qu'en minéraux tels que le calcium et le fer.

Bien que sa teneur en calories, protéines, glucides, lipides et fibres soit relativement faible, ces éléments contribuent à ses qualités nutritionnelles, particulièrement appréciées dans une alimentation équilibrée. Par ailleurs, il existe une grande diversité de variétés de laitue, se distinguant par leurs formes, leurs couleurs et leurs saveurs (Ramirez, 2015).

1.8.1. Intérêt économique

La laitue est l'un des légumes-feuilles les plus cultivés et commercialisés à l'échelle mondiale. Sa forte demande sur les marchés locaux et internationaux en fait une culture d'intérêt économique majeur, tant pour les grandes exploitations que pour les petits producteurs (Coelho et al., 2005).

1.8.2. Intérêt nutritionnel

Sur le plan nutritionnel, la laitue constitue un aliment de choix dans une alimentation saine. Elle est riche en vitamines A, B (acide folique), C et E, ainsi qu'en minéraux essentiels comme le calcium et le fer. Bien que faiblement calorique, elle contient des fibres, des glucides, des protéines et des lipides en petites quantités, ce qui en fait un légume apprécié pour ses bienfaits sur la santé (Ramirez, 2015).

1.8.3. Intérêt agronomique

La laitue est une culture à cycle court, adaptée aux systèmes maraîchers intensifs. Elle s'intègre facilement dans des rotations culturales diversifiées et peut être cultivée aussi bien en plein champ que sous abri. Sa plasticité variétale (forme, couleur, résistance aux stress) en fait une espèce intéressante pour les producteurs, notamment en agriculture biologique et en agriculture raisonnée.

2. Généralités sur le stress salin

Dans les régions arides et semi-arides, la salinité constitue l'un des principaux facteurs responsables de la dégradation des sols, les rendant inadaptés à une production agricole durable (Benidire et al., 2014).

Selon Penningsfeld et Kurzmann (1969), les plantes cultivées peuvent être classées en trois catégories selon leur comportement face à la salinité : les espèces résistantes, tolérantes et sensibles. Toutefois, cette classification traditionnelle fait aujourd'hui l'objet de critiques, car la sensibilité des plantes dépend non seulement de l'espèce, mais aussi du cultivar et du stade de développement de la plante.

Il est essentiel de rappeler que l'objectif des agriculteurs n'est pas la simple survie des cultures, mais bien l'obtention d'un rendement élevé et de qualité. Une culture peut en effet survivre à

des concentrations salines élevées, tout en présentant une forte réduction de sa productivité (Urban et Urbon, 2010).

2.2 Définition du stress salin

Une concentration excessive de sels dans la rhizosphère entraîne un stress pour les plantes, principalement en raison du déficit hydrique induit et de la toxicité ionique. Deux mécanismes sont essentiels pour la tolérance à un environnement salin : l'exclusion des sels et l'ajustement osmotique (Hopkins, 2003).

La salinité peut être définie comme un processus pédologique au cours duquel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles, acquérant ainsi des caractéristiques salines (Eilers et al., 1995 ; Gregory, 2005). Le stress salin correspond à une accumulation excessive d'ions, notamment de sodium (Na^+) et de chlorure (Cl^-), mais pas exclusivement.

Cette accumulation affecte le potentiel hydrique du sol et réduit fortement la quantité d'eau réellement disponible pour les plantes. Dans ces conditions, bien que l'eau soit physiquement présente, elle n'est plus accessible aux racines, créant un état qualifié de "sécheresse physiologique" (Bassou, 2019).

On distingue généralement deux grandes catégories de stress auxquels les plantes peuvent être soumises (Lamkadem et Debbach, 2014)

- **Le stress biotique**, induit par l'action d'organismes vivants tels que les micro-organismes pathogènes, les insectes ou encore les herbivores.
- **Le stress abiotique**, provoqué par des facteurs environnementaux d'origine physique ou chimique, notamment la sécheresse, les températures extrêmes ou la salinité (stress salin).

2.3 Types de salinisation

2.3.1. Salinisation primaire

La salinisation dite « primaire » ou « naturelle » désigne l'accumulation de sels minéraux dans les sols résultant de phénomènes naturels. Elle est généralement liée à la présence de nappes phréatiques salines ou à l'altération de roches mères riches en sels. Cette altération est influencée par divers facteurs physico-chimiques tels que le vent, le gel, le dégel et les

précipitations acides contenant de l'acide carbonique (H_2CO_3) (Duchaufour et al., 1979, cité par Brahimi, 2017). Ce type de salinisation peut également avoir une origine géologique, marine ou lagunaire, et reflète l'évolution naturelle du sol sous l'action combinée du climat, de la nature du substrat rocheux et des dynamiques hydrologiques (Haballah et Timilali, 2018). Ainsi, la salinisation primaire fait référence à l'accumulation de sels présents naturellement dans l'environnement (Payen et al., 2016).

2.3.2. Salinisation secondaire

À l'inverse, la salinisation dite « secondaire » résulte principalement des activités humaines. Elle est souvent aggravée par une mauvaise gestion des pratiques agricoles, notamment l'utilisation excessive ou inappropriée des eaux d'irrigation, souvent de qualité médiocre (Benidire et al., 2014). Ce processus, également appelé salinisation anthropique, est donc directement lié aux interventions humaines et à une exploitation non durable des ressources en eau et du sol (Payen et al., 2016)

2.4 Effet de la salinité

2.4.1 Effet de la salinité sur la germination

Le stade de la plantule représente l'une des phases les plus vulnérables du cycle de développement d'une plante. La germination, en tant qu'étape initiale, conditionne le moment et les conditions dans lesquelles la jeune plantule commence sa croissance. Cette phase est particulièrement sensible à la salinité du sol, qui constitue un facteur limitant majeur (Said et al., 2011).

Selon Rejili et al. (2006), les semences exposées à un stress salin réagissent par une diminution du taux de germination, ainsi qu'un retard significatif dans le déclenchement du processus germinatif. L'un des mécanismes expliquant cette inhibition réside dans les perturbations de l'équilibre hormonal, provoquées par la présence excessive de sels dans le milieu.

2.4.2 Effet de la salinité sur la croissance et le développement

La réduction de la croissance végétale constitue une réponse adaptative à la déshydratation induite par le stress salin. Elle permet à la plante de préserver ses réserves hydriques, favorisant ainsi sa survie dans un environnement défavorable (Thellier et al., 2013). La salinité exerce un effet direct sur la conductance stomatique, auquel s'ajoute une influence sur la croissance

dimensionnelle des organes, comme l'ont démontré Neumann et al. (1988) lors d'études sur des chocs salins.

L'élongation cellulaire, particulièrement sensible au stress hydrique, est souvent plus affectée que l'ouverture stomatique. Ainsi, une irrigation insuffisante ou un excès de sels minéraux dans le sol entraîne fréquemment une réduction de la taille des organes en développement. Par ailleurs, il est plausible que la diminution de l'activité de puits dans les zones en croissance ralentisse la photosynthèse au niveau foliaire, en raison de l'accumulation de produits assimilés non exportés (Urban et Urban, 2010).

2.4.3 Effets de la salinité sur le rendement des plantes

La salinité affecte négativement le rendement des cultures en réduisant significativement la croissance de l'appareil végétatif. Cette réduction se manifeste par une faible ramification, un diamètre réduit des organes, un nombre limité de nœuds, une diminution du nombre de feuilles ainsi qu'un raccourcissement de la tige. Ces altérations morphologiques entraînent une augmentation du rapport racine/tige. Une baisse notable des poids de matière fraîche et sèche a également été observée (Rush et al., 1981).

En général, la salinité induit un retard dans le développement global de la plante (Gill, 1979 ; Elmekkaoui, 1990 ; Boukachabia, 1993). L'augmentation du stress salin se traduit par une diminution marquée de la hauteur et du diamètre des tiges, ainsi que par une réduction significative de la taille des fruits, comme l'ont souligné Khan et al. (1997).

2.4.4 Effets de la salinité sur la morphologie (tige, racine, feuille)

Selon l'étude menée par Kouadria et al. (2019), une corrélation significative et positive a été observée entre la surface foliaire et certains paramètres racinaires, notamment la longueur des racines. Ces résultats confirment l'effet régulateur des racines sur la partie aérienne, en particulier à travers la production de composés chimiques tels que l'acide abscissique (ABA), qui joue un rôle inhibiteur au niveau foliaire, modulant ainsi à la fois la surface des feuilles et la transpiration.

Par ailleurs, des travaux de référence tels que ceux de Bates et Hall (1981), Gollan et al. (1985), Schulze (1986) et Davies et al. (1990) ont démontré que les stomates peuvent se fermer même en l'absence de stress hydrique apparent, dès lors que les racines sont exposées à un choc salin

aigu. Cette réponse stomatique à la salinité souligne l'impact indirect mais profond de ce stress abiotique sur la morphologie et le fonctionnement des organes aériens.

2.4.5 Effet de la salinité sur la photosynthèse

Le stress salin impacte négativement le processus photosynthétique, principalement par une diminution de l'assimilation du dioxyde de carbone (CO₂), une réduction de la conductance stomatique, ainsi qu'un ralentissement de l'activité de transport des électrons au niveau du photosystème II. Cette perturbation de la photosynthèse constitue l'un des principaux facteurs responsables du ralentissement de la croissance et de la baisse de la productivité des plantes soumises à des conditions salines (Farissi et al., 2014).

2.5 Tolérance des plantes a la contrainte saline

La tolérance des plantes à la salinité se définit comme leur capacité à se développer et à croître normalement malgré la présence de sels solubles dans leur environnement, sans que ces conditions n'altèrent significativement leur fonctionnement physiologique (Hanana et al., 2017).

2.5.1 Comportement des plantes en milieu salin :

En fonction de leur degré de tolérance au sel, les végétaux peuvent être classés en deux grandes catégories : les **halophytes** et les **glycophytes**.

- Les **halophytes** sont des plantes capables de croître dans des sols fortement salins. Leur croissance peut même être favorisée à des concentrations salines élevées, allant de 200 à 500 mM.
- En revanche, les **glycophytes** sont sensibles à la salinité et ne supportent que de faibles concentrations en sel. Des niveaux de NaCl inférieurs à 50 mM peuvent entraîner chez eux des dommages physiologiques irréversibles (Hopkins, 2003).

Malgré cette classification, les deux types de plantes peuvent mettre en œuvre divers mécanismes d'adaptation afin d'assurer leur développement en conditions salines. Parmi ces stratégies figurent l'exclusion des sels en excès à travers les racines, ainsi que leur compartimentation dans les vacuoles, ce qui permet de limiter leur toxicité au niveau cellulaire.

2.5.1.1) Exclusion

Certaines plantes ont la capacité d'empêcher ou de limiter l'entrée de substances toxiques, comme les sels, dans leurs tissus. Ce mécanisme est bien connu chez les halophytes, qui peuvent libérer les sels en excès sous forme de cristaux visibles sur la surface de leurs feuilles, surtout pendant les journées ensoleillées (Batamouny, 1993). Chez les plantes moins tolérantes au sel, comme le haricot (un glycophyte), on observe souvent que le sodium est bloqué au niveau des feuilles, mais il peut s'accumuler dans les tiges et les racines.

2.5.1.2) Inclusion

D'après Dajic (2006), les plantes ont aussi mis en place plusieurs stratégies pour éviter que les sels ne s'accumulent en excès dans leurs tissus. Parmi ces mécanismes, on trouve :

- Le contrôle de l'absorption du sel dès les racines,
- La régulation du sodium qui circule vers les tiges, en le bloquant dans le xylème ou en le récupérant avant qu'il n'atteigne les parties aériennes,
- Une bonne sélectivité entre les ions Na^+ et K^+ ,
- La recirculation des sels via le phloème,
- Leur concentration dans certaines zones précises de la plante,
- L'évacuation des ions par la chute d'organes riches en sels,
- La régulation de la transpiration,
- Et enfin, la sécrétion des ions à travers des structures spécialisées appelées glandes à sel (Nabi, 2009).

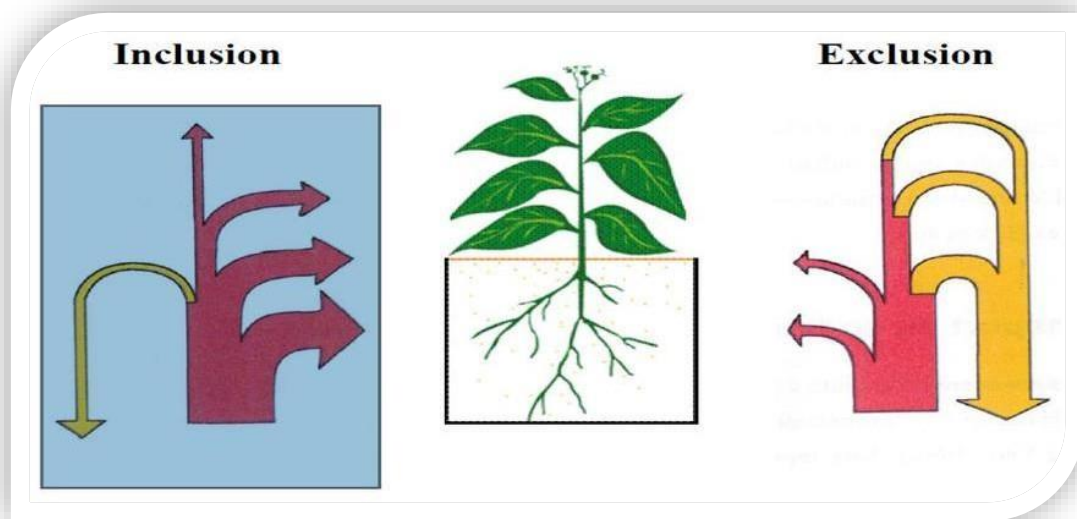


Figure 1 : Illustration des stratégies « exclusion et inclusion »

2.6 Importance de la salinité

La salinité représente aujourd'hui un enjeu majeur en agriculture, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Elle est l'un des principaux facteurs de dégradation des sols, réduisant leur fertilité et leur aptitude à la production agricole. Cette problématique prend de l'ampleur avec l'extension des surfaces irriguées et l'utilisation fréquente d'eaux de qualité médiocre, ce qui accentue l'accumulation des sels dans la zone racinaire. (FAO, 2020 ; Munns & Tester, 2008).

Comprendre l'impact de la salinité est essentiel, car elle affecte directement la germination, la croissance, la physiologie et le rendement des plantes. Elle influence également la structure et l'activité biologique du sol. D'un point de vue agronomique, il devient donc indispensable de connaître les mécanismes de tolérance au sel développés par les plantes, afin d'adapter les pratiques culturales et d'identifier des espèces ou variétés mieux adaptées aux conditions salines. (Ashraf & Harris, 2004 ; Flowers & Yeo, 1995).

Sur le plan scientifique, l'étude de la salinité permet d'approfondir la compréhension des interactions entre les plantes et leur environnement. Elle ouvre aussi la voie à la sélection ou à l'amélioration génétique de plantes plus résistantes, ce qui représente une piste importante face

aux défis posés par les changements climatiques et la raréfaction des terres (**Munns, 2002 ; Qadir et al., 2007**).

Chapitre (II) : Matériel et méthodes

Objectif de l'essai

L'objectif principal de notre essai est d'évaluer l'impact du stress salin, induit par différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl), sur la germination et les paramètres morphologiques de deux variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.). L'étude repose sur l'application de cinq niveaux croissants de salinité, en plus d'un témoin non traité, dans le but d'analyser les réponses spécifiques de chaque variété face à un environnement salin.

Plus précisément, cette expérimentation vise à :

- **Évaluer l'effet de la salinité sur la germination** des graines de laitue, en mesurant les taux de germination, les vitesses et le temps moyen de germination sous stress salin ;
- **Analyser les modifications morphologiques** au stade plantule, notamment la longueur de la racine et de la tige, ainsi que l'état de développement foliaire ;

Cette étude permettra ainsi de mieux comprendre la sensibilité de *Lactuca sativa* L. au stress salin, d'identifier les variétés les plus tolérantes et de contribuer à l'amélioration des stratégies culturales dans les zones agricoles touchées par la salinisation des sols.

2)Matériel végétal

Les graines de laitue utilisées dans cette étude appartiennent aux variétés **Batavia Blonde de Paris** et **Madrilène**. Elles ont été sélectionnées pour évaluer la réponse de *Lactuca sativa* L. au stress salin, notamment lors des phases de germination et de croissance. Ces semences ont été obtenues auprès de sources fiables afin de garantir la qualité du matériel végétal utilisé dans les expérimentations.



Figure 2 : laitue batavia blonde de paris

(*Lactuca sativa* var. *capitata*)



Figure 3 : laitue madrilene

((*Lactuca sativa* var. *longifolia*))

3.Préparation des solutions salines

Pour cette étude, cinq concentrations différentes de chlorure de sodium (NaCl) ont été préparées : 0 Mm (témoin), 25 Mm, 50 Mm, 75 Mm et 100 Mm. Ces valeurs ont été soigneusement sélectionnées en se fondant sur une revue approfondie de la littérature scientifique ainsi que sur des travaux expérimentaux récents, afin de couvrir un large spectre de stress salin et d'évaluer de manière précise les réponses des plantes à différentes intensités de salinité.

Tableau N°04 : Les différentes concentrations salines

Solution	Concentrations (Mm)	Na Cl (g/l)
1	0 Mm(témoin)	0 g/l
2	25 Mm	0.73 g/l
3	50 Mm	1.46 g/l
4	75 Mm	2.19 g/l
5	100 Mm	2.92 g/l



Figure 04. Préparation des solutions salines

4.Essai de germination

4.1) Préparation des graines de laitue

Avant le démarrage de l'essai, les graines des deux variétés de laitue (*Batavia Blonde de Paris* et *Madrilène*) sont soumises à une étape de désinfection afin de prévenir toute contamination fongique ou bactérienne susceptible d'interférer avec le processus de germination.

À cette fin, les graines sont immergées pendant 5 minutes dans une solution d'hypochlorite de sodium (12°), puis abondamment rincées à l'eau distillée pour éliminer toute trace de désinfectant.

Après séchage superficiel, les graines sont réparties par groupes de 10 dans des boîtes de Pétri, contenant deux couches de papier filtre humidifié.

Chaque boîte reçoit un volume précis de solution selon le traitement appliqué : 2 ml d'eau distillée pour le témoin (T1 : 0 mM) et 2 ml de solution saline pour les lots soumis au stress (T2 : 25 mM, T3 : 50 mM, T4 : 75 mM, T5 : 100 mM de NaCl). Les boîtes sont ensuite placées dans un incubateur à température constante (25 °C), dans des conditions homogènes, assurant un suivi rigoureux de la germination.

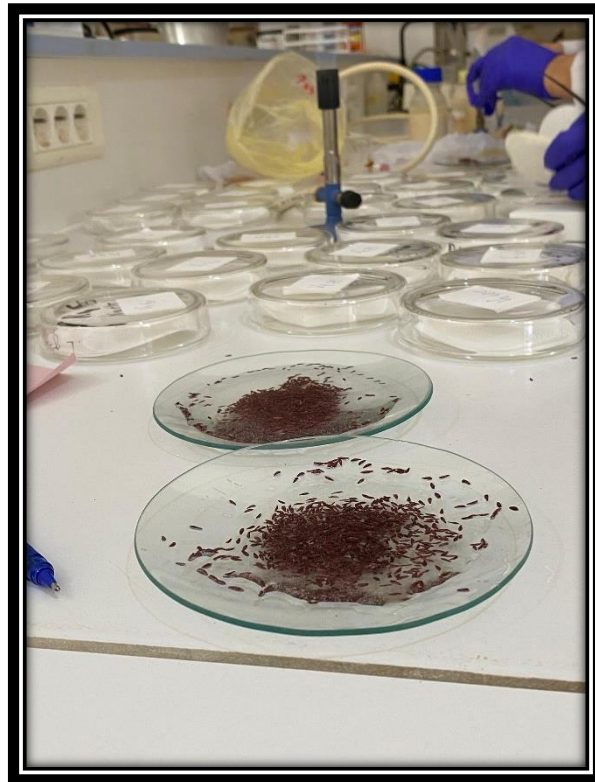


Figure.5 Désinfection des semences

4.2 Dispositif expérimental

Notre étude a été menée selon un dispositif en split-plot intégrant deux facteurs : deux variétés de laitue (*Batavia Blonde de Paris* et *Madrilène*) représentant le facteur variétal (V), et cinq niveaux de concentrations en chlorure de sodium (NaCl) correspondant au facteur salinité (S). Chaque combinaison traitement/variété a été répétée trois fois (R) afin de garantir la robustesse statistique et la fiabilité des résultats obtenus.

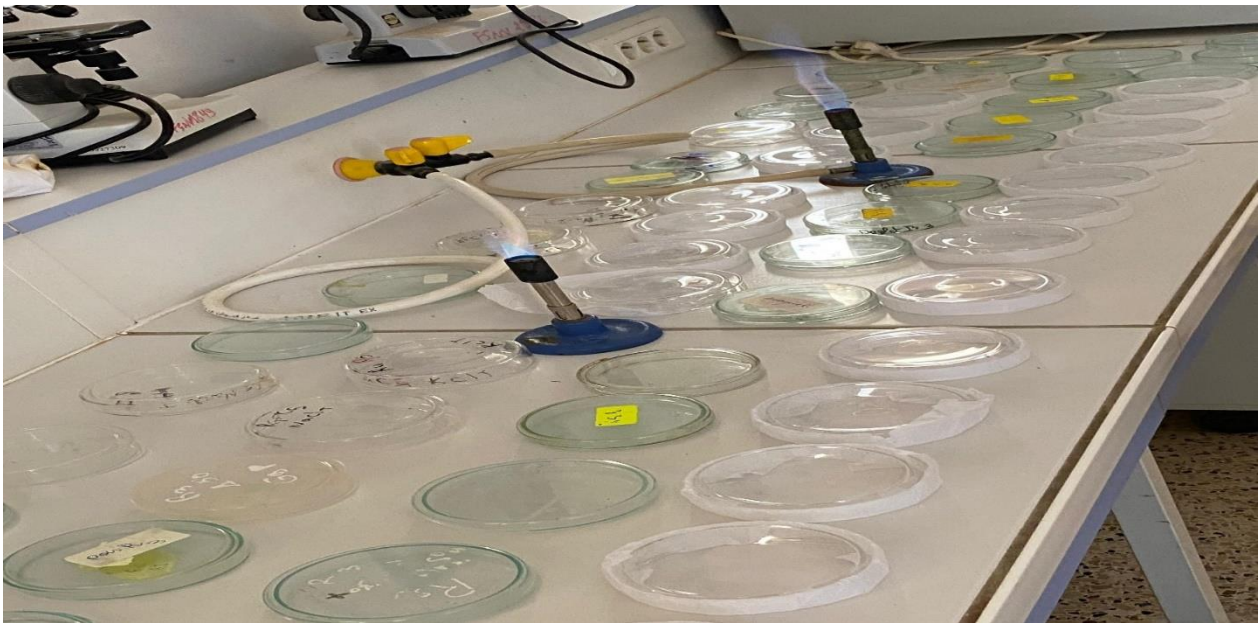


Figure 6. Installation de l'expérience

Par la suite, les boîtes de Pétri contenant les graines de laitue sont placées dans un incubateur réfrigéré maintenu à une température constante de 25 °C, assurant ainsi des conditions optimales et homogènes pour la germination. Afin de maintenir une humidité adéquate tout au long de l'essai, un apport quotidien de 2 ml d'eau distillée est réalisé dans chaque boîte contenant les graines de laitue.

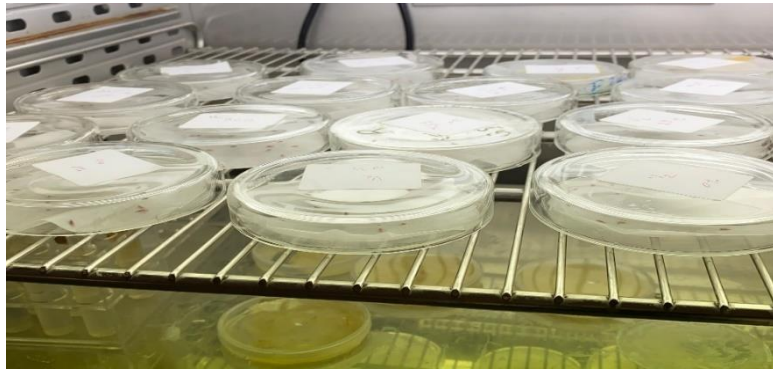


Figure 7. Les Boîtes de pétri sont placées dans un incubateur réfrigéré

4.3 Paramètres étudiés

Afin d'évaluer l'impact du stress salin sur la germination et la croissance initiale des plantules des différentes variétés étudiées, on a suivi les taux de germination pour chaque variété sur une durée de 10 jours ainsi que l'étude des paramètres morphologiques.

4.3.2) Paramètres physiologiques

- **Taux de germination (TG) :** il est calculé en rapportant le nombre de graines ayant germé (NG) au nombre total de graines mises en germination (NT),
- **Taux de germination final (G %) :** Ce paramètre est utilisé afin d'analyser la capacité germinative, il est exprimé par le rapport entre le nombre de graines germées sur le nombre total de graines incubées (Côme, 1970 ; Amouri et Fyad Lamech., 2012).
- **Indice de tolérance (IT) :** Afin de déterminer la tolérance des génotypes, un indice (IT) a été déterminé, il est égal au rapport du taux de germination noté sous stress sur celui du témoin. Il a été considéré que les plantes tolérantes ont un indice de tolérance plus élevé que les plantes sensibles (Amouri et al., 2015).

4.3.1) Paramètres morphologiques

- **Longueur de la racicule :** la racine principale a été mesurée, après germination, à l'aide d'une règle millimétrée, de la base de la graine jusqu'à l'extrémité de la racine.
- **Longueur de la tigelle :** la partie aérienne de la plantule, comprise entre le collet et les cotylédons, a également été mesurée à l'aide du même procédé.

- **Nombre des feuilles** : après la levée, le nombre de feuilles visibles sur chaque plantule a été compté manuellement. Cette donnée permet d'évaluer l'impact du stress salin sur le développement foliaire.
- **Superficie des feuille** : elle a été mesurée en multipliant la longueur par la largeur .

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTAS ET DISCUSSION

Paramètres physiologiques

Les résultats d'analyse et de suivi des paramètres physiologiques au cours de notre expérimentation sont présentés comme la suite :

1 Taux de germination

Pour le suivi du taux de germination de deux variétés de laitue à savoir Madrilène et Batavia de Paris les résultats obtenus sont mentionnés dans la figure ci-dessous

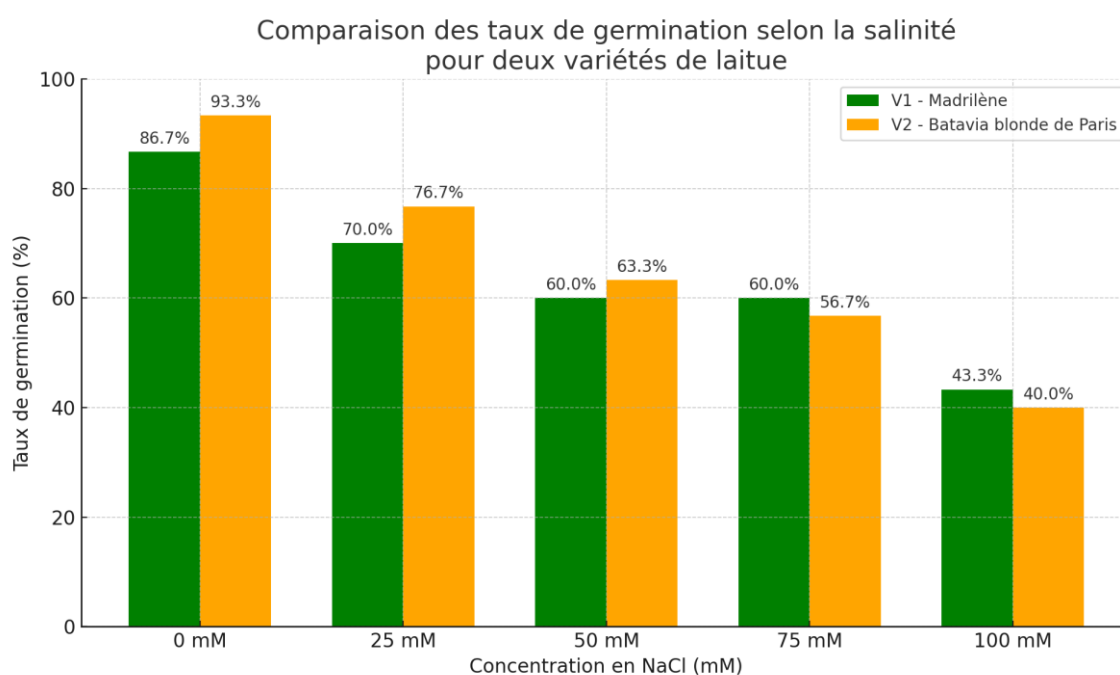


Figure 8. Comparaison des taux de germination selon la salinité pour les deux variétés de laitue

Les résultats obtenus montrent que le taux de germination des graines des deux variétés de laitue, V1 (Madrilène) et V2 (Batavia blonde de Paris), varié sensiblement en fonction des concentrations croissantes de NaCl appliquées, avec des réponses différenciées au stress salin.

En absence de sel (0 mM NaCl), les deux variétés présentent des taux de germination élevés. Batavia blonde de Paris (V2) atteint 93,3 %, indiquant une excellente capacité germinative, tandis que Madrilène (V1) avec un taux de 86,7 %, traduisant également un bon potentiel de germination dans des conditions optimales.

À une concentration modérée de 25 mM, on observe une diminution du taux de germination chez les deux variétés : 70,0 % pour V1 et **76,7 %** pour V2. Cette baisse marque l'apparition d'un stress salin léger. Toutefois, la variété Batavia montre une meilleure tolérance à ce niveau de salinité, maintenant un taux plus élevé que la Madrilène.

Lorsque la salinité atteint 50 mM, les deux variétés subissent une chute du taux de germination, avec 60,0 % pour V1 et 63,3 % pour V2. Ces valeurs révèlent un effet plus marqué du sel sur le pouvoir germinatif, bien que la Batavia continue de présenter une légère supériorité.

À 75 mM, la tendance change légèrement. Le taux de germination de la variété Madrilène reste stable à 60,0 %, tandis que celui de la Batavia diminue à 56,7 %. Cela suggère que la Madrilène dispose d'une meilleure capacité d'adaptation ou de résistance à des niveaux de stress salin plus élevés.

Enfin, à 100 mM, les deux variétés enregistrent une baisse significative de la germination : 43,3 % pour la Madrilène et 40,0 % pour la Batavia. Cette chute traduit une inhibition marquée du processus de germination, probablement due à des effets osmotiques et ioniques importants qui perturbent les mécanismes physiologiques essentiels à l'initiation de la germination.

Globalement, ces résultats suggèrent que la Batavia blonde de Paris (V2) possède une meilleure capacité germinative en conditions normales et faiblement salines, tandis que la Madrilène (V1) montre une stabilité plus importante à des concentrations salines élevées. Le seuil critique de tolérance semble se situer autour de 50 mM NaCl pour les deux variétés, au-delà duquel la germination est notablement affectée. Ces différences de comportement mettent en évidence des stratégies physiologiques distinctes de réponse au stress salin selon la variété.

1.2 Analyse du taux de germination et de l'indice de tolérance chez les deux variétés de laitue

La figure 09 montre l'indice de tolérance pour chaque variété et pour chaque concentration de sel

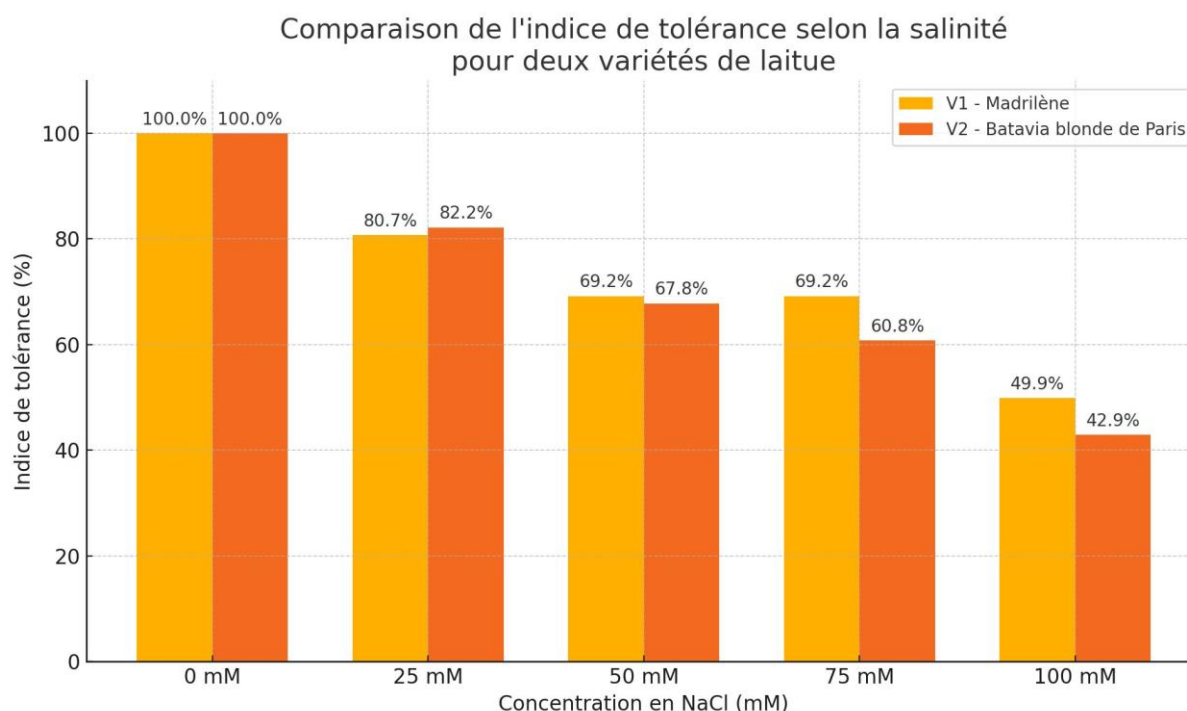


Figure 9 : Comparaison de l'indice de tolérance selon la salinité de deux variétés de laitue

Les résultats présentés sur le graphique montrent que l'indice de tolérance des deux variétés de laitue, V1 (Madrilène) et V2 (Batavia blonde de Paris), varie de manière significative en réponse à l'augmentation de la concentration en NaCl, révélant des comportements différenciés face au stress salin.

En absence de sel (0 mM NaCl), les deux variétés affichent une tolérance maximale, avec un indice de 100 %, traduisant un état physiologique optimal sans contrainte saline.

À une concentration modérée de 25 mM, une légère baisse de l'indice de tolérance est observée : V1 atteint 80,7 % et V2 conserve une tolérance légèrement supérieure à 82,2 %. Ces résultats suggèrent une sensibilité débutante au stress salin, tout en indiquant que la Batavia blonde de Paris réagit légèrement mieux à ce niveau.

Lorsque la concentration atteint 50 mM, la tendance s'inverse légèrement, avec V1 (Madrilène) maintenant un indice de tolérance de 69,2 %, contre 67,8 % pour V2. À ce stade, l'effet du sel

devient plus marqué, mais la variété Madrilène montre une tolérance comparable, voire légèrement supérieure.

À 75 mM de NaCl, l'écart se creuse davantage : V1 conserve son niveau de tolérance (69,2 %), tandis que V2 enregistre une baisse plus notable à 60,8 %. Cette stabilité de la variété Madrilène à une salinité plus élevée traduit une meilleure capacité de résistance ou d'adaptation au stress osmotique.

Enfin, à 100 mM, les deux variétés affichent une chute significative de l'indice de tolérance : 49,9 % pour V1 et seulement 42,9 % pour V2. Ce déclin marqué témoigne d'un stress salin important affectant les mécanismes de tolérance des plantes.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence que la variété Batavia blonde de Paris (V2) montre une meilleure tolérance aux faibles concentrations de NaCl, tandis que la variété Madrilène (V1) présente une stabilité plus prononcée à des niveaux de salinité plus élevés. Cela reflète l'existence de stratégies physiologiques distinctes de réponse au stress salin, avec un seuil critique autour de 50 à 75 mM, au-delà duquel les capacités de tolérance des deux variétés sont fortement affectées.

2 Paramètres morphologiques

2.1 La longueur de la racine

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure

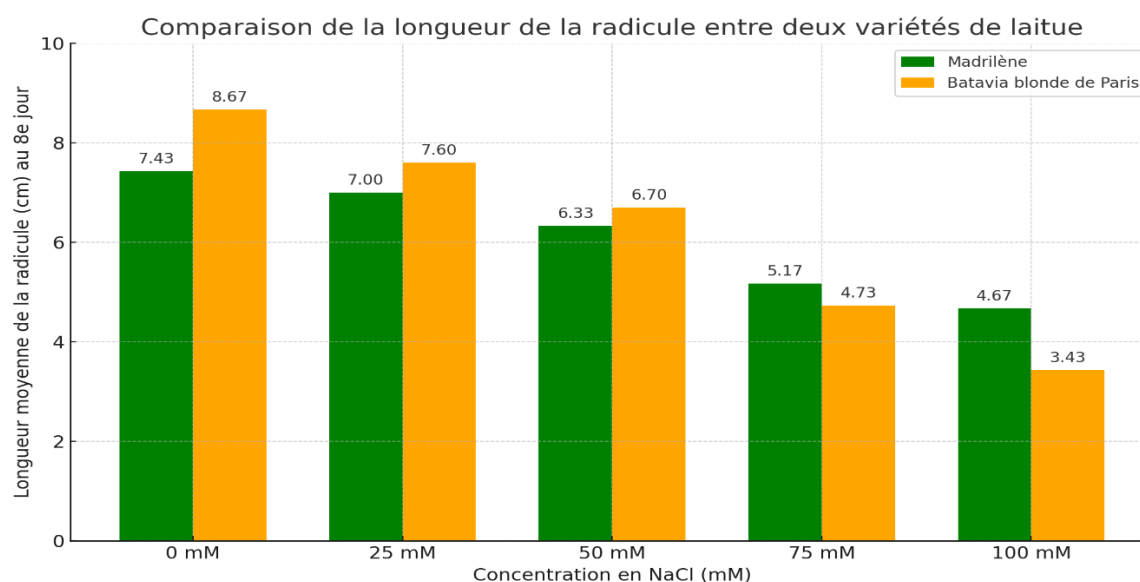


Figure 10. Evolution de la longueur de la racine en fonction des variétés et des concentrations en NaCl

Le graphique obtenu permet d'analyser l'effet du stress salin sur la croissance de la racine de deux variétés de laitue : Madrilène (V1) et Batavia blonde de Paris (V2). Les mesures ont été prises au 8^e jour de germination, en présence de différentes concentrations de NaCl (0, 25, 50, 75 et 100 mM).

En absence de sel (0 mM), la variété Batavia blonde de Paris affiche la plus grande longueur moyenne de racine (8.67 cm), contre 7.43 cm pour la Madrilène. Cela indique que Batavia possède un potentiel de croissance initial supérieur en conditions optimales, et que sa vigueur germinative est plus élevée que celle de la variété Madrilène dans un environnement sans stress.

Lorsque le sel est introduit à une concentration modérée de 25 mM, la longueur moyenne de la racine de Batavia diminue légèrement (7.6 cm), mais reste encore supérieure à celle de Madrilène (7 cm). Ce comportement suggère que Batavia maintient une bonne croissance racinaire dans des conditions de salinité faible à modérée.

Cependant, à partir de 50 mM de NaCl, une tendance différente émerge : les deux variétés commencent à exprimer des signes de stress salin, mais la variété Madrilène montre une meilleure résilience. À cette concentration, la longueur de la racine chez Madrilène est de 6.33 cm, tandis qu'elle est de 6 cm chez Batavia. Cette inversion dans les performances se confirme à des doses plus élevées.

À 75 mM, la différence devient plus marquée : Madrilène atteint 5.17 cm contre 4.5 cm pour Batavia. À 100 mM, le stress salin devient plus sévère et impacte fortement la croissance racinaire des deux variétés, mais Madrilène maintient une longueur de 4.67 cm, tandis que Batavia chute à 3.43 cm.

Ces résultats soulignent que :

- Batavia blonde de Paris est plus performante en conditions normales ou faiblement salines.
- Madrilène montre une meilleure tolérance au stress salin, surtout à partir de 50 mM, et conserve un développement racinaire plus stable que Batavia.

Pour la longueur de la racine, l'analyse de la variance a montré une influence significative de la variété ($0,05 > p > 0,01$), une influence très hautement significative ($p < 0,001$) de la salinité et l'interaction (VAR x NaCl) sur ce paramètre (**tableau 05**).

Tableau 05 : Analyse de la variance de la longueur de la radicule

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Signification
Intercept	1143,301	1	1143,301	92700,11	0,000000	
Var	0,085	1	0,085	6,92	0,016036	S
NaCl	65,485	4	16,371	1327,41	0,000000	THS
Var*NaCl	5,501	4	1,375	111,51	0,000000	THS
Error	0,247	20	0,012			

2.2 La longueur de la tige

Les résultats obtenus sont mentionnés dans la figure 11

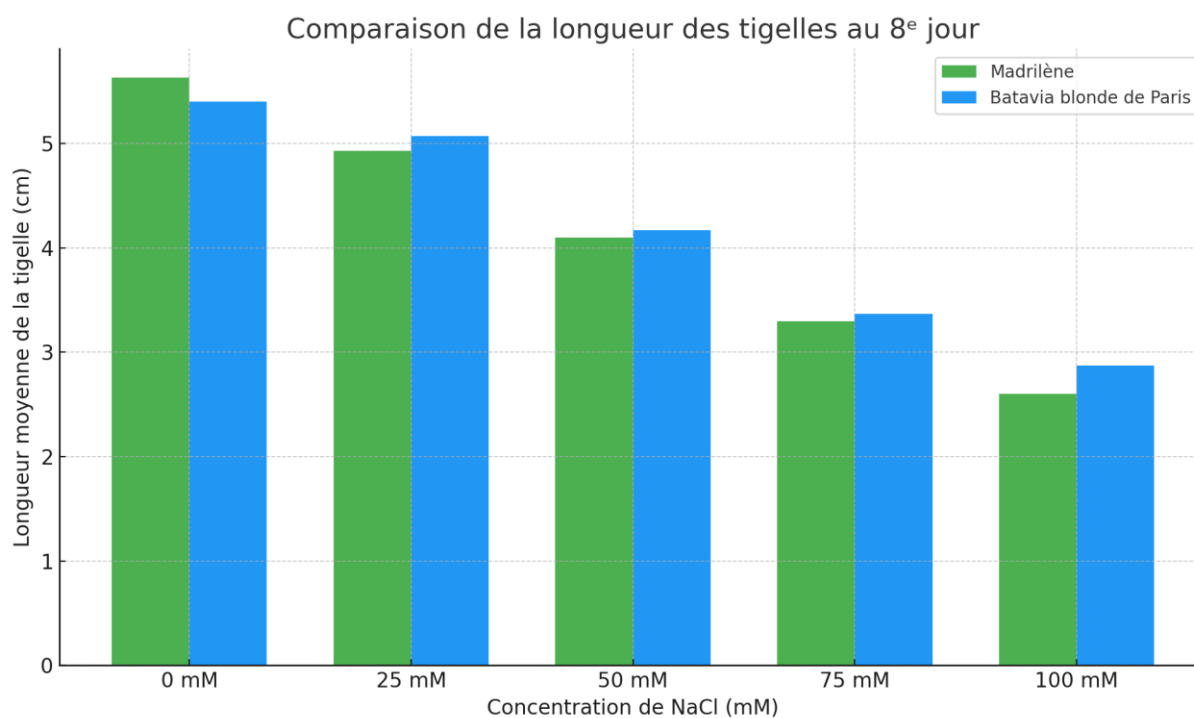


Figure 11. Evolution de la longueur de la tige en fonction des variétés et des concentrations en NaCl

Les résultats représentés dans le graphique montrent clairement l'effet de la salinité croissante sur le développement de la tige chez les deux variétés de laitue. D'une manière générale, on observe une diminution progressive de la longueur de la tige avec l'augmentation de la concentration en NaCl, ce qui est cohérent avec les effets connus du stress salin sur la croissance des parties aériennes des plantules.

À 0 mM de NaCl (témoin)

- La variété **Madrilène** atteint une longueur moyenne de **5,63 cm**, ce qui représente la

croissance optimale en absence de stress salin.

- La variété **Batavia blonde de Paris** atteint **5,4 cm**, un peu moins que Madrilène, mais tout de même élevé, indiquant également une bonne vigueur initiale.

Ces valeurs indiquent que dans des conditions normales (sans sel), les deux variétés se développent bien, avec une légère supériorité de la variété Madrilène.

À 25 mM de NaCl

- **Madrilène** : 4,93 cm
- **Batavia** : 5,07 cm

À cette faible concentration de sel, on note une très légère diminution pour Madrilène, tandis que Batavia conserve presque sa vigueur. Cela pourrait indiquer une meilleure **tolérance initiale** au sel chez Batavia à faible dose.

À 50 mM de NaCl

- **Madrilène** : 4,2 cm
- **Batavia** : 4,17 cm

La diminution de la croissance devient plus marquée. Les deux variétés réagissent de manière similaire, perdant environ 1,4 cm par rapport à leur croissance maximale, ce qui montre l'effet inhibiteur de la salinité modérée.

À 75 mM de NaCl

- **Madrilène** : 3,3 cm
- **Batavia** : 3,37 cm

Le stress salin s'intensifie et affecte davantage la croissance. Batavia conserve une légère avance, ce qui peut témoigner d'une meilleure gestion du stress osmotique dans ses tissus.

À 100 mM de NaCl

- **Madrilène** : 2,6 cm
- **Batavia** : 2,87 cm

La salinité élevée réduit significativement la croissance des tigelles chez les deux variétés, mais Batavia montre à nouveau une meilleure performance, ce qui pourrait indiquer une **meilleure adaptation au stress salin intense** à ce stade.

Par ailleurs, l'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif ($p > 0,05$) de la variété sur la longueur de la tigelle, alors que les concentrations de NaCl et l'interaction Var X NaCl ont eu des effets très hautement significatifs ($p < 0,001$) et significatifs ($0,05 > p > 0,01$) successivement sur la croissance de la tigelle (Tableau **06**).

Tableau ? : Analyse de la variance de la tige

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Signification
Intercept	515,0163	1	515,0163	39616,64	0,000000	
Var	0,0270	1	0,0270	2,08	0,165016	NS
NaCl	31,5853	4	7,8963	607,41	0,000000	THS
Var*NaCl	0,2013	4	0,0503	3,87	0,017342	S
Error	0,2600	20	0,0130			

2.3 Le nombre des feuilles

Les résultats obtenus sont mentionnés présentés dans la figure 12

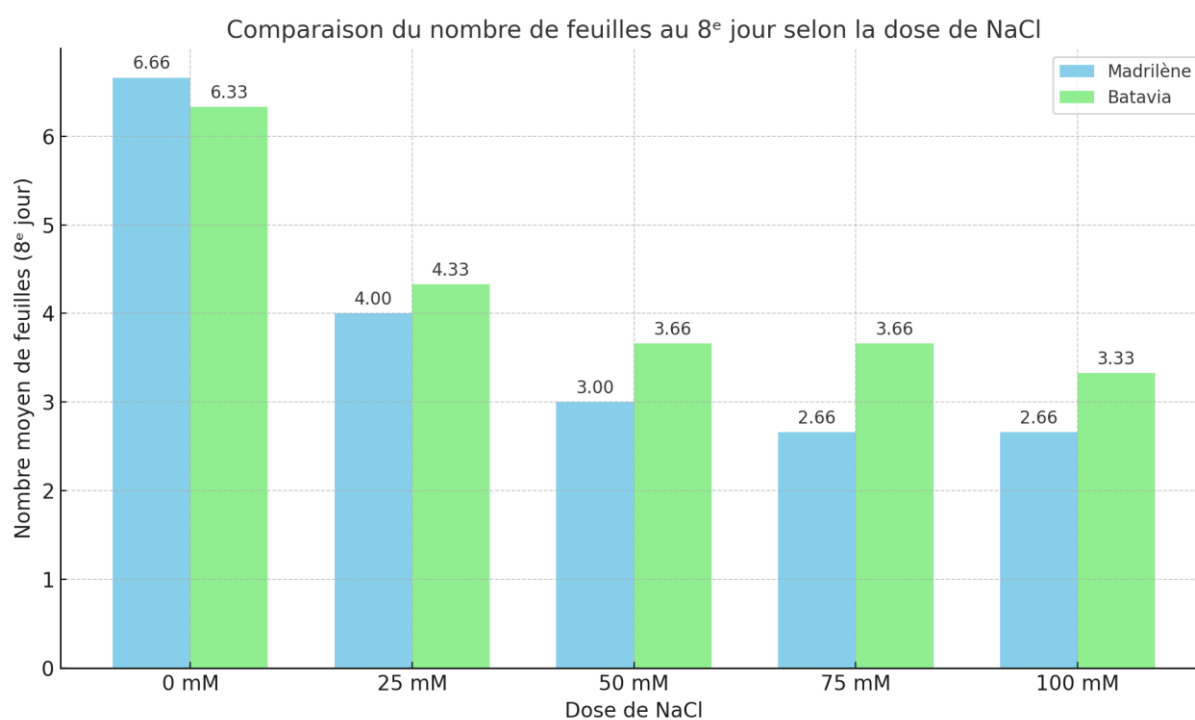


Figure 12. Evolution du nombre de feuilles en fonction des variétés et des concentrations en NaCl

L'analyse comparative des moyennes du **nombre de feuilles au 8^e jour** chez les deux variétés révèle des **réponses différenciées au stress salin**.

À 0 mM de NaCl (condition témoin) :

- **Madrilène** présente un nombre moyen de **6.66 feuilles**.
- **Batavia** suit de près avec **6.33 feuilles**.
- ➤ Les deux variétés affichent un bon développement foliaire sans stress, avec une **légère supériorité de Madrilène**, suggérant une vigueur initiale potentiellement plus forte.

À 25 mM de NaCl :

- **Madrilène : 6 feuilles**
- **Batavia : 4.33 feuilles**
- ➤ On observe une **réduction modérée** chez les deux variétés, mais plus marquée chez **Batavia**.
- ➤ **Madrilène** conserve une bonne capacité de croissance, montrant une **meilleure tolérance précoce au stress salin faible**.

À 50 mM de NaCl :

- **Madrilène : 3 feuilles**
- **Batavia : 3.66 feuilles**
- ➤ À cette concentration, **la tendance s'inverse : Batavia dépasse Madrilène**.
- ➤ Cela indique que Batavia possède une **meilleure stabilité foliaire** dans un stress salin **modéré**, contrairement à Madrilène qui montre une chute importante.

À 75 mM de NaCl :

- **Madrilène : 2 feuilles**
- **Batavia : 3.66 feuilles**
- ➤ La différence s'accroît : **Batavia montre une meilleure résistance**, conservant un bon nombre de feuilles malgré le stress.
- ➤ **Madrilène est fortement affectée**, avec une réduction de moitié par rapport à 50 mM.

À 100 mM de NaCl :

- **Madrilène : 2.66 feuilles**
- **Batavia : 3.33 feuilles**
- ➤ Bien que le nombre de feuilles de Batavia baisse légèrement, il reste **supérieur à celui de Madrilène**.
- ➤ La tendance globale indique que **Batavia est plus stable et plus résistante** à des

concentrations élevées de sel.

Concernant le traitement statistique du nombre de feuille, les résultats de l'analyse de variance (tableau ?) montrent que les concentrations de NaCl ont influencé ce paramètre de façon très hautement significative ($p < 0,001$), par contre ni le facteur variété, et l'interaction Var X NaCl n'ont eu d'effet significatif ($p > 0,05$).

Tableau 07 : Analyse de la variance du nombre de feuilles

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Signification
Intercept	488,0333	1	488,0333	1045,786	0,000000	
Var	1,6333	1	1,6333	3,500	0,076074	NS
NaCl	50,4667	4	12,6167	27,036	0,000000	THS
Var*NaCl	1,5333	4	0,3833	0,821	0,526756	NS
Error	9,3333	20	0,4667			

2.4 La superficie des feuilles

la figure 13 montre les résultats obtenues.

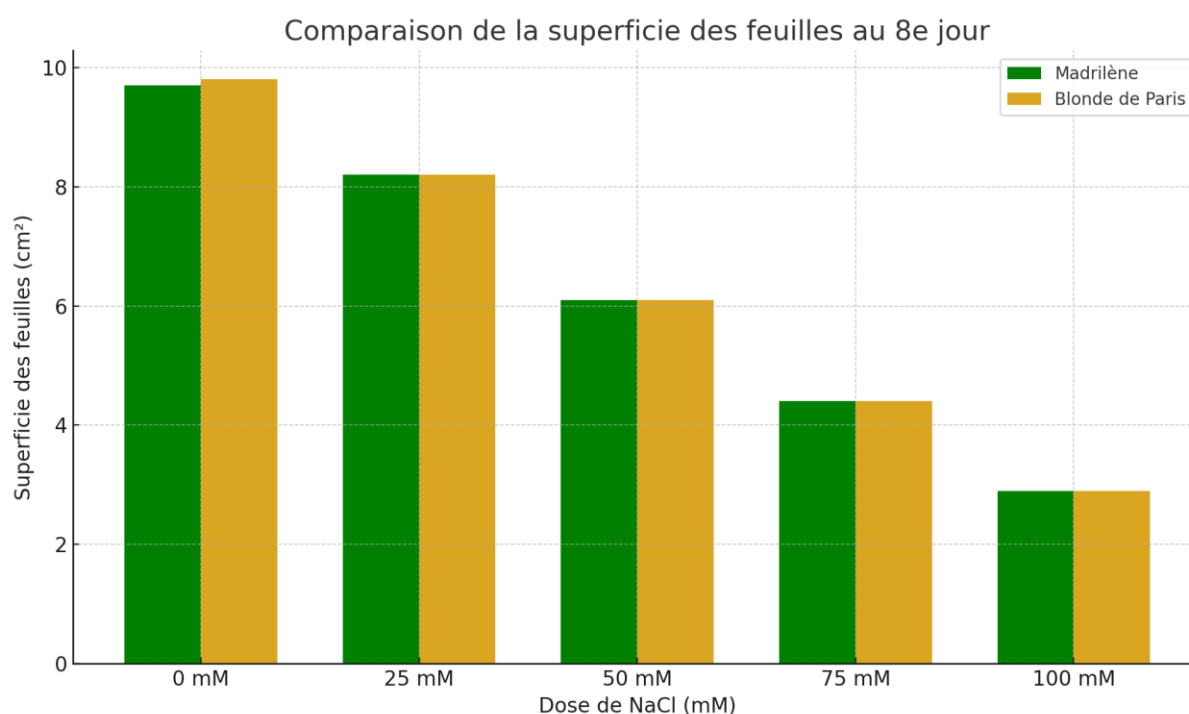


Figure 15 : Evolution de la surface foliaire en fonction des variétés et des concentrations en NaCl

La description des résultats observés dans le graphique comparatif de la superficie foliaire des deux variétés de laitue (« Madrilène » et « Blonde de Paris ») au 8^e jour de culture sous différentes doses de sel (NaCl) :

À 0 mM de NaCl (témoin) :

- Les deux variétés affichent une croissance optimale.
- **Blonde de Paris** présente une superficie moyenne légèrement plus élevée ($\approx 9,8 \text{ cm}^2$) que **Madrilène** ($\approx 9,7 \text{ cm}^2$), ce qui reflète une vigueur similaire dans des conditions sans stress salin.

À 25 mM de NaCl :

- La superficie foliaire diminue légèrement pour les deux variétés ($\sim 8,2 \text{ cm}^2$).
- Cette faible réduction montre que les deux variétés tolèrent modérément une salinité légère, sans différence notable entre elles.

À 50 mM de NaCl :

- Une diminution significative est observée ($\sim 6,1 \text{ cm}^2$ pour les deux).
- Le stress salin commence à freiner la croissance foliaire. À cette dose, les deux variétés réagissent de façon presque identique.

À 75 mM de NaCl :

- La superficie chute davantage ($\sim 4,4 \text{ cm}^2$).
- Les feuilles sont plus petites, signalant un impact marqué du sel sur la photosynthèse et la croissance cellulaire.

À 100 mM de NaCl :

- Les deux variétés atteignent leur plus faible superficie ($\sim 2,9 \text{ cm}^2$).
- Cette dose provoque un stress sévère. Aucune variété ne montre une tolérance claire à cette concentration élevée.

Concernant les résultats de l'analyse de la variance, des effets très hautement significatifs et significatifs des Variétés ($p < 0,001$) ; NaCl ($p < 0,001$) et l'interaction Var X NaCl ($0,05 > p > 0,01$) sur la surface foliaire (tableau 8).

Tableau 08 : Analyse de la variance de la surface foliaire

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Signification
Intercept	1116,300	1	1116,300	111630,0	0,000000	
Var	0,768	1	0,768	76,8	0,000000	THS

NaCl	173,040	4	43,260	4326,0	0,000000	THS
Var*NaCl	0,132	4	0,033	3,3	0,031318	S
Error	0,200	20	0,010			

Conclusion

Conclusion

La salinité des sols représente aujourd'hui l'un des principaux obstacles à la productivité agricole mondiale, affectant particulièrement les régions arides et semi-arides, comme c'est le cas dans de nombreuses zones sahariennes. À travers cette étude, nous avons évalué l'effet du stress salin sur la germination et le développement initial de deux variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.), à savoir 'Madrilène' et 'Blonde de Paris', soumises à différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl).

Les résultats obtenus confirment que la salinité agit de manière négative sur les processus de germination, de croissance caulinare, de développement foliaire et d'élongation racinaire. L'augmentation progressive des doses de NaCl entraîne une réduction significative du taux de germination, du nombre de feuilles, de la surface foliaire, ainsi que de la longueur des tiges et des racines. Ces effets traduisent une inhibition physiologique causée par la double contrainte osmotique et ionique exercée par les sels dissous dans le sol.

Cependant, il a été observé que la réponse à la salinité varie sensiblement d'une variété à l'autre. La variété 'Madrilène' a montré une meilleure tolérance au stress salin, avec des performances plus élevées en termes de germination et de croissance, même sous des concentrations modérées à fortes de NaCl (jusqu'à 75 mM). En revanche, la variété 'Blonde de Paris' s'est révélée plus sensible, avec une diminution plus marquée des paramètres mesurés à partir de 50 mM. Cette différence suggère l'existence de mécanismes de tolérance spécifiques, probablement d'ordre morpho-physiologique ou biochimique, chez certaines variétés.

L'analyse comparative des données permet donc d'affirmer que la sélection variétale constitue une voie prometteuse pour faire face à la salinité croissante des sols cultivés. En identifiant des variétés plus tolérantes, comme 'Madrilène', il devient possible d'adapter les pratiques agricoles aux contraintes environnementales actuelles. Cette stratégie est d'autant plus essentielle dans un contexte de changement climatique, où les stress abiotiques sont amenés à s'intensifier.

Par ailleurs, cette étude met en évidence l'importance d'approches intégrées combinant des observations morphologiques à des analyses physiologiques pour mieux comprendre la dynamique de réponse des plantes au stress.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Munns, R., & Tester, M. (2008). *Mechanisms of salinity tolerance*. Annual Review of Plant Biology, **59**, 651–681

Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2005). *Pre-sowing seed treatment—a shotgun approach to improve germination growth and crop yield under saline and non-saline conditions*. Advances in Agronomy, **88**, 223–271.

Bernstein, L. (1975). *Effects of salinity on seed germination and seedling growth*. In: **Soil and Water Management**, USDA Agricultural Handbook No. 60, Washington, D.C.

Mahmoudi, H., Kaddour, R., & Benmansour, A. (2010). *Effet du stress salin sur la germination de cinq variétés de laitue (Lactuca sativa L.)*. African Journal of Agricultural Research, **5**(18), 2491–2495.

Bybordi, A., & Tabatabaei, J. (2009). *Effect of salinity stress on germination and seedling characteristics of different sunflower (Helianthus annuus L.) genotypes*. Journal of Food, Agriculture & Environment, **7**(3&4), 401–404.

Flowers, T.J., & Yeo, A.R. (1995). *Breeding for salinity resistance in crop plants: where next?*. Functional Plant Biology (formerly Australian Journal of Plant Physiology), **22**, 875–884.

Munns, R. (2002). *Comparative physiology of salt and water stress*. Plant, Cell & Environment, **25**(2), 239–250.

- **Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C.** (2010). *Leaves, flowers, immature fruits and leafy stems of Malva sylvestris: A comparative study of the nutraceutical potential and composition*. Food and Chemical Toxicology, **48**(6), 1466–1472.

- **Benabdelkader, A.** (2018). *La laitue : aspects morphologiques et physiologiques*. Publication universitaire interne, Université d'Alger.

- **Benmadani, M., & Belouadah, A.** (2018). *Manuel de production de la laitue en climat méditerranéen*. Institut Technique des Cultures Maraîchères (ITCM).

- **Bernstein, L.** (1975). *Effects of salinity on crop yields*. USDA Agricultural Research Service Handbook No. 501.

- **Bybordi, A., & Tabatabaei, S. J.** (2009). *Effect of salinity stress on germination and seedling properties in lettuce*. Asian Journal of Agricultural Sciences, **1**(3), 92–94.

- Collin, J., & Lizot, J. (2003). *Culture de la laitue : semis, plantation, fertilisation*. Chambre d'Agriculture du Loiret.
- Costanzo, S., Dell'Acqua, M., & Raggi, L. (2020). Genetic resources and resilience in lettuce. *Plant Genetic Resources*, 18(5), 368–380.
- Davey, M. R., & Anthony, P. (2011). Genetic transformation of lettuce. In *Transgenic Plants* (pp. 173–185). Springer.
- Elattir, H., El Harti, A., & El Houssni, A. (2003). *La laitue : guide technique de production*. IAV Hassan II, Rabat.
- Elmhirst, J. (2006). *Grey mold (Botrytis cinerea) on greenhouse lettuce*. Plant Disease Management Guide.
- FAO. (2015). *Status of the World's Soil Resources*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Flowers, T. J., & Yeo, A. R. (1995). Breeding for salinity resistance in crop plants: Where next? *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(6), 875–884.
- Funk, V. A., Susanna, A., Stuessy, T. F., & Bayer, R. J. (2005). *Systematics, evolution, and biogeography of Compositae*. International Association for Plant Taxonomy.
- Gautier, H., et al. (2009). *La laitue : connaissance et conduite de la culture*. Éditions Quae.
- Grasset, L. (2008). *Rôle de la matière organique dans la fertilité des sols cultivés*. INRA.
- Grevsen, K., & Olesen, J. E. (1994). Impact of climate on bolting in lettuce. *Journal of Horticultural Science*, 69(2), 351–358.
- INRA. (2015). *Fiches variétales de laitue*. Institut National de la Recherche Agronomique, France.
- Jenni, S. (2010). Lettuce production under cold climate conditions. *Acta Horticulturae*, 856, 151–160.
- Jenni, S., & Bourgeois, G. (2008). Lettuce development and climate. *Canadian Journal of Plant Science*, 88(5), 1049–1059.
- Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (1999). *Plant systematics: A phylogenetic approach*. Sinauer Associates.
- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., & Türkan, I. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of three barley cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2), 267–273.

- Labrie, S., & Ménard, C. (2012). *Les légumes à feuilles dans l'histoire de l'alimentation*. Presses de l'Université Laval.
- Lakhdari, A., Zennouche, M., & Kherici, N. (2010). Caractéristiques morphologiques des graines de laitue. *Revue des Sciences de la Vie*, 3(1), 22–28.
- Mahmoudi, H., Grignon, C., & Lutts, S. (2010). Effect of NaCl on germination, seedling growth and physiological traits of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 60(3), 229–241.
- Mahmoudi, H., Lutts, S., & Grignon, C. (2011). Salinity effects on germination and early seedling growth of lettuce. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 40–46.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239–250.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
- Pitrat, M., & Foury, C. (2004). *Les plantes légumières*. INRA Éditions.
- Plamondon, J. (2011). *La laitue, de l'antiquité à nos jours*. Éditions Agricoles du Québec.
- Roupheal, Y., Cardarelli, M., Rea, E., & Colla, G. (2008). The influence of irrigation and nitrogen fertilization on yield and quality of lettuce. *HortScience*, 43(6), 1489–1495.
- Ryder, E. J. (1999). *Lettuce, endive, and chicory*. CABI Publishing.
- Sellam, A. (2020). *Étude de la culture de laitue (Lactuca sativa L.) dans le contexte climatique algérien*. Mémoire de Master, Université de Mostaganem.
- Shannon, M. C., & Grieve, C. M. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78(1-4), 5–38.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Thicoïpé, J. (1997). *Les légumes-feuilles et leurs exigences agronomiques*. CIRAD.
- USDA. (2020). *FoodData Central: Lettuce, raw*. United States Department of Agriculture.
- Valade, R. (2012). *Pollinisation et reproduction des laitues cultivées*. Bulletin Technique INRA.
- Verolet, M. (2001). *Techniques culturales de la laitue en conditions de lumière limitée*. Agroscope Changins-Wädenswil.

- Zorrig, W. (2010). *Effets de la salinité sur le développement de Lactuca sativa L.* Mémoire de Master, Université de Tunis.
- Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1), 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
- Barros, L., Heleno, S. A., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2010). Lactic acid fermentation of vegetable foods. *Food Chemistry*, 120(3), 710–715.
- Bassou, A. (2019). Effets du stress salin sur la croissance et le métabolisme des plantes. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 7(4), 554–566.
- Bates, L. M., & Hall, A. E. (1981). Stomatal closure with soil water depletion not associated with changes in bulk leaf water status. *Oecologia*, 50, 62–65.
- Benabdelkader, A. (2018). *Physiologie et évaluation de la tolérance à la salinité chez la laitue (Lactuca sativa L.)*. Mémoire de Master, Université de Mostaganem.
- Benidire, L., & al. (2014). Problématique de la salinité des sols dans les zones arides. *Revue des Bioressources*, 4(1), 23–30.
- Benmadani, M., & Belouadah, S. (2018). Effet de la température et de la photopériode sur la montaison de la laitue. *Revue Nature & Technologie*, 19, 51–58.
- Boukachabia, H. (1993). *Réponse des plantes cultivées au stress salin : cas de la tomate*. Thèse de doctorat, Université de Mostaganem.
- Brahimi, M. (2017). *Salinité des sols et réponse des cultures maraîchères dans la région d'El Oued*. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- Coelho, D. F., Rodrigues, M. G. V., & Fernandes, A. V. (2005). Alface: aspectos nutricionais e benefícios para a saúde. *Revista Verde*, 1(2), 45–51.
- Collin, S., & Lizot, M. (2003). *Guide de culture de la laitue*. ITAB - Institut Technique de l'Agriculture Biologique.
- Costanzo, S., Giordano, I., Elia, A., & Serio, F. (2020). Genetic and agronomic characterization of lettuce varieties under high temperature conditions. *Horticulturae*, 6(3), 35.
- Dajic, Z. (2006). Salt stress. In *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, 41–99.
- Davey, M. R., & Anthony, P. (2011). The genetic improvement of lettuce. In *Genetic Improvement of Vegetable Crops* (pp. 245–275). Pergamon Press.

- Davies, W. J., Kudoyarova, G., & Hartung, W. (1990). Control of stomatal behaviour by abscisic acid from roots. *New Phytologist*, 118(4), 571–581.
- Duchaufour, P., et al. (1979). *Pédologie : Tome 2*. Masson.
- Eilers, R. G., Wills, B., Eilers, W. D., & MacKay, R. (1995). Salinity in soil and water: How does it affect agriculture? *Agriculture and Agri-Food Canada*, 7–13.
- Elattir, H., Abdelouahhab, H., & Bousselamti, A. (2003). Étude de l'effet de la température sur la croissance de la laitue. *Bulletin de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II*, 23(1), 77–84.
- Elmekkaoui, M. (1990). *Effets de la salinité sur la croissance et la photosynthèse de quelques espèces maraîchères*. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad.
- Elmhirst, J. (2006). Lettuce diseases and management. *BC Ministry of Agriculture Publication*, Canada.
- FAO. (2020). *Salt-affected soils: Global extent, causes, management and impacts on agriculture*. FAO Soils Bulletin.
- Farissi, M., Bouizgaren, A., & Boulli, A. (2014). Influence du stress salin sur les paramètres de la photosynthèse. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(1), 187–194.
- Flowers, T. J., & Yeo, A. R. (1995). Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(6), 875–884.
- Funk, V. A., et al. (2005). *Systematics, Evolution, and Biogeography of Compositae*. IAPT.
- Gautier, H., Rideau, F., & Trottin-Caudal, Y. (2009). La laitue : guide technique. *Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire*.
- Gill, H. S. (1979). Effect of salt stress on the growth of tomato. *Plant and Soil*, 52, 351–355.
- Gollan, T., Passioura, J. B., & Munns, R. (1985). Soil water status affects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 12(5), 479–486.
- Grasset, L. (2008). *Fertilité et nutrition des cultures*. Éditions Educagri.
- Grevsen, K., & Olesen, J. E. (1994). Modelling development of lettuce. *Scientia Horticulturae*, 57(1), 1–9.

- Haballah, R., & Timilali, Y. (2018). Étude des sols salins au Maroc. *Revue des Régions Arides*, 2(42), 17–24.
- Hanana, M., Ben Khalifa, M., & Masmoudi, K. (2017). Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(1), 22–34.
- Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. De Boeck.
- INRA. (2015). *Catalogue des variétés de laitue*. Institut National de la Recherche Agronomique.
- Jenni, S. (2010). Lettuce response to temperature and photoperiod. *HortScience*, 45(8), 1173–1177.
- Jenni, S., & Bourgeois, G. (2008). Optimal soil pH for lettuce production. *Agriculture and Agri-Food Canada*, Quebec.
- Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., & Donoghue, M. J. (1999). *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach*. Sinauer Associates.
- Khan, M. A., Weber, D. J., & Al-Rawahy, S. A. (1997). Salinity tolerance in crop plants. *Biologia Plantarum*, 40(1), 1–9.
- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., & Türkan, I. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidative enzymes in cotton and lupin. *Environmental and Experimental Botany*, 60(3), 344–351.
- Kouadria, M., et al. (2019). Étude des effets de la salinité sur la morphologie racinaire de la laitue. *Bulletin de Recherche Agronomique*, 32, 89–96.
- Labrie, G., & Ménard, M. (2012). Histoire de la laitue : de l'Égypte à nos potagers. *Revue Jardinage et Patrimoine*, 8, 33–38.
- Lakhdari, M., Aouar, S., & Hadeif, R. (2010). Étude morphologique et physiologique de la graine de laitue. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 5, 22–29.
- Lamkadem, A., & Debbach, F. (2014). Les effets des stress abiotiques sur les plantes. *Revue des Bioressources*, 4(1), 13–20.
- Mahmoudi, H., Ben Salah, H., & Ben Youssef, N. (2011). Effets du stress salin sur la laitue cultivée. *Revue Tunisienne des Sciences Biologiques*, 2, 77–83.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239–250.

- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
- Nabi, R. B. S. (2009). Glandular salt secretion in halophytes: A defense strategy. *Plant Stress*, 3(2), 60–66.
- Neumann, P. M., Guénni, L., & Varta, R. (1988). Cell wall extensibility and plant growth under salinity. *Journal of Experimental Botany*, 39(200), 895–900.
- Payen, S., Perrin, A., & Tanguy, G. (2016). Les effets de la salinisation des sols. *Revue Agriculture Durable*, 6, 42–47.
- Penningsfeld, F., & Kurzmann, R. (1969). Effet de la salinité sur les cultures. *Agronomie Tropicale*, 24(2), 149–160.
- Pitrat, M., & Foury, C. (2004). *Les plantes légumières*. INRA.
- Plamondon, M. (2011). *Production de laitue en climat tempéré*. MAPAQ – Québec.
- Qadir, M., et al. (2007). Agricultural strategies for saline soils. *Agricultural Water Management*, 94(1-3), 1–10.
- Ramirez, D. A. (2015). Lettuce: Nutritional and health benefits. *Journal of Food and Nutrition Research*, 3(6), 382–387.
- Rejili, M., et al. (2006). Effet du stress salin sur la germination. *Revue des Régions Arides*, 1, 1–5.
- Roupahel, Y., Cardarelli, M., & Colla, G. (2008). Salinity stress in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 117(4), 352–358.
- Rush, D. W., Epstein, E., & Martinez-Baca, M. (1981). Salinity response in crops. *Plant Physiology*, 67(1), 105–108.
- Ryder, E. J. (1999). *Lettuce, endive, and chicory*. CABI Publishing.
- Said, H., et al. (2011). Impact de la salinité sur la germination. *Revue des Sciences Agronomiques*, 3(1), 45–54.
- Schulze, E.-D. (1986). Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought. *Annual Review of Plant Physiology*, 37(1), 247–274.
- Sellam, A. (2020). *Physiologie de la laitue et contraintes abiotiques*. Mémoire de Master, Université de Tizi-Ouzou.

- Shannon, M. C., & Grieve, C. M. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78(1–4), 5–38.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5^e éd.). Sinauer Associates.
- Thellier, M., et al. (2013). Réponse des plantes au stress salin. *Revue Botanique Appliquée*, 12, 15–28.
- Thicoïpé, J. M. (1997). *Les salades : laitues, chicorées et autres légumes feuilles*. Éditions Rustica.
- Urban, L., & Urbon, R. (2010). La réponse des plantes au stress abiotique. *Éditions Quae*.
- USDA. (2020). *USDA National Nutrient Database for Standard Reference*.
- Valade, R. (2012). *Biologie florale et reproduction chez Lactuca sativa*. Mémoire de Master, Université de Bordeaux.
- Verolet, M. (2001). *Production de laitue en climat montagnard*. FIBL Suisse.
- Zorrig, W. (2010). Étude des paramètres reproductifs chez la laitue. *Thèse de Doctorat*, Université de Tunis El Manar.

Références électroniques

http://www.prisme.ca/laitue_ravageurs.asp

Résumé

Effet de stress salin sur la germination de deux variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.)

Ce mémoire traite l'effet du stress salin sur la germination de deux variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.), pour cela des tests de germination ont été réalisés au laboratoire sous différentes concentrations de NaCl (0, 25, 50, 75 et 100 mM) afin d'évaluer la tolérance au sel. Les résultats ont montré une baisse significative du taux de germination avec l'augmentation de la concentration saline. Une variabilité de réponse entre les deux variétés a été observée, ce qui souligne l'importance du choix variétal dans les zones à sols salins. Ces résultats peuvent contribuer à la sélection de variétés plus adaptées aux conditions environnementales contraignantes.

Mots-clés : laitue, germination, stress salin, NaCl, tolérance.

الملخص

تأثير الإجهاد الملحي على إنبات صنفين من الخس (*Lactuca sativa* L.)

يتناول هذا البحث تأثير الإجهاد الملحي على إنبات صنفين من الخس ولتحقيق ذلك، أُجريت اختبارات إنبات في المختبر بتركيزات مختلفة من كلوريد الصوديوم (0، 25، 50، 75، و100 ملي مولار) لتقييم تحمل الملوحة. وأظهرت النتائج انخفاضًا ملحوظًا في معدل الإنبات مع زيادة تركيز الملح. ولوحظ تباين في الاستجابة بين الصنفين، مما يُبرز أهمية اختيار الأصناف في المناطق ذات التربة المالحة. ويمكن أن تُسهم هذه النتائج في اختيار أصناف أكثر تكيفًا مع الظروف البيئية المُقيّدة..

الكلمات المفتاحية: خس، إنبات، إجهاد ملحي، كلوريد الصوديوم، تحمل

Abstract

Effect of salt stress on the germination of two lettuce varieties (*Lactuca sativa* L.)

This thesis examines the effect of salt stress on the germination of two lettuce varieties (*Lactuca sativa* L.). Laboratory germination tests were conducted using different NaCl concentrations (0, 25, 50, 75, and 100 mM) to assess salt tolerance. The results revealed a significant decrease in germination rate as salt concentration increased. A variation in response between the two varieties was observed, emphasizing the importance of varietal selection in saline soils. These findings may contribute to the selection of varieties better adapted to stressful environmental conditions.

Keywords: lettuce, germination, salt stress, NaCl, tolerance, laboratory